ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 15 AVRIL 1912.

PRÉSIDENCE DE M. LIPPMANN.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

GÉOMÉTRIE CINÉMATIQUE. — *Sur la théorie géométrique, pour un corps non rigide, des déplacements bien continus, ainsi que des déformations et des rotations de ses particules.* Note de M. J. **Boussinesq.**

I. La théorie classique de Cauchy sur les déplacements des points matériels et sur les déformations dans les corps élastiques, a gardé encore, pour bien des géomètres, un point obscur ou, du moins, susceptible de devenir beaucoup plus simple et plus clair; c'est celui des rotations dites *moyennes*, mais qu'il est parfaitement possible de regarder comme de vraies rotations, comme des mouvements d'une figure invariable. Je me propose de le montrer dans cette Note, en y résumant des démonstrations qui font depuis nombre d'années partie de mon cours de la Sorbonne.

II. J'appellerai : ξ, η, ζ, fonctions graduellement variables de x, y, z, les *déplacements* éprouvés par le point matériel M du corps dont les coordonnées *primitives* étaient x, y, z; ξ_1, η_1, ζ_1 les déplacements d'un point *voisin*, K, dont les coordonnées primitives étaient $x+h$, $y+k$, $z+l$; enfin, h', k', l' les projections sur les axes, *après les déplacements*, de la droite MK. Comme on aura évidemment

$$(1)\quad h' = h + (\xi_1 - \xi) = h + \frac{d\xi}{dx}h + \frac{d\xi}{dy}k + \frac{d\xi}{dz}l, \qquad k' = \frac{d\eta}{dx}h + \ldots, \qquad l' = \frac{d\zeta}{dx}h + \ldots,$$

et que les neuf dérivées partielles premières de ξ, η, ζ en x, y, z seront très sensiblement constantes *à l'intérieur d'une particule*, on voit que h', k', l' y

auront mêmes valeurs pour tout couple (M, K) de points où h, k, l seront les mêmes; de plus, si h, k, l y varient proportionnellement, h', k', l' varieront dans le même rapport. Autrement dit, deux droites de la particule primitivement orientées de même ont encore une même orientation après les déplacements et se sont allongées ou accourcies dans un même rapport. D'où il suit :

1° Que toute *fibre*, ou *file rectiligne élémentaire de points matériels*, reste *rectiligne* et se dilate ou se contracte *uniformément;*

2° Que deux fibres voisines primitivement parallèles restent indéfiniment voisines et *parallèles*, et qu'elles éprouvent une dilatation ∂ *commune*, positive ou négative ;

3° Que tout *feuillet* matériel *plan*, lieu de fibres parallèles croisées par une même fibre droite élémentaire d'une autre direction, ne cesse pas de comprendre toutes ces fibres et reste un *feuillet* plan;

4° Enfin, que deux pareils feuillets, parallèles avant les déplacements, ou comprenant, chacun, de telles fibres respectivement parallèles dans les deux, ne cesseront pas d'être deux plans matériels *constamment parallèles.*

III. Cela posé, taillons idéalement la particule en forme de parallélépipède, dont les arêtes seront parallèles à trois fibres intérieures droites MA, MB, MC émanées d'un même point central $M(x, y, z)$; et supposons l'angle trièdre de celles-ci défini par les trois cosinus (compris entre 1 et -1) des angles BMC, CMA, AMB, aigus ou obtus. Après les déplacements, ces trois fibres MA, MB, MC auront éprouvé des *dilatations* (relatives) que nous appellerons respectivement $\partial_a, \partial_b, \partial_c$; et les cosinus de leurs angles auront subi des accroissements *dits* respectivement les *glissements* mutuels des fibres MB et MC, MC et MA, MA et MB, glissements que nous appellerons g_a, g_b, g_c. Il est clair que le parallélépipède, en se déformant, sera toujours un parallélépipède, à arêtes sans cesse parallèles aux trois fibres intérieures MA, MB, MC; et que son angle solide d'où partiront trois arêtes orientées comme les fibres MA, MB, MC, angle sans cesse égal au trièdre MABC, aura ses changements de forme complètement définis, comme ceux même de MABC, par les trois glissements g_a, g_b, g_c, tandis que ces arêtes du parallélépipède auront éprouvé les trois dilatations ∂_a, ∂_b, ∂_c.

Par conséquent, la figure apparente de la particule, après les déformations, pourra être construite si l'on donne, outre sa configuration primitive, les *six déformations élémentaires* subies g_a, g_b, g_c, ∂_a, ∂_b, ∂_c.

IV. Mais il y a plus : c'est la configuration *interne* elle-même de la particule, qui aura son changement défini au moyen des six mêmes déformations $g_a, g_b, g_c, \partial_a, \partial_b, \partial_c$.

Rapportons, en effet, chaque point matériel K de la particule aux trois fibres MA, MB, MC, prises comme axes de coordonnées. Soient ainsi a, b, c les coordonnées de K avant les déplacements, représentées par trois fragments de fibres MI, IJ, JK, ayant respectivement les directions de MA, MB, MC et dont les deux premières MI, IJ font partie du feuillet AMB. Ces trois fibres élémentaires $a = \text{MI}$, $b = \text{IJ}$, $c = \text{JK}$ seront, après les déplacements, encore parallèles à MA, MB, MC et auront pris les valeurs, nouvelles coordonnées de K par rapport au trièdre déformable MABC,

$$(2) \qquad a' = a(1 + \partial_a), \qquad b' = b(1 + \partial_b), \qquad c' = c(1 + \partial_c).$$

Quand on aura construit, grâce aux trois données g_a, g_b, g_c, la nouvelle figure du trièdre, les formules (2) feront donc connaître, pour le point K quelconque de la particule, ses nouvelles coordonnées, qui permettront de le rattacher au trièdre et, par suite, de se représenter la configuration complète du corps aux environs de la molécule M.

V. Considérons spécialement les points (a, b, c) de la particule qui constituent une surface ou *nappe* matérielle, dont l'équation $f(a, b, c) = 0$ soit, par exemple, algébrique et de degré n. Après les déplacements, cette nappe aura, d'après (2), l'équation

$$f\left(\frac{a'}{1 + \partial_a}, \frac{b'}{1 + \partial_b}, \frac{c'}{1 + \partial_c}\right) = 0.$$

La déformation subie par la surface lui laisse, par conséquent, son degré n et une forme très analogue à la première.

Supposons maintenant que cette surface soit primitivement l'ellipsoïde

$$(3) \qquad \frac{a^2}{\varepsilon^2} + \frac{b^2}{\varepsilon'^2} + \frac{c^2}{\varepsilon''^2} = 1,$$

ayant trois demi-diamètres conjugués ε, ε', ε'', suivant les fibres MA, MB, MC. Elle deviendra, après les déplacements,

$$(4) \qquad \frac{a'^2}{\varepsilon^2(1 + \partial_a)^2} + \frac{b'^2}{\varepsilon'^2(1 + \partial_b)^2} + \frac{c'^2}{\varepsilon''^2(1 + \partial_c)^2} = 1.$$

Donc, toute particule taillée en forme d'ellipsoïde reste ellipsoïdale ; et ce sont, dans ses états successifs, *les mêmes fibres* qui constituent ses systèmes de diamètres conjugués.

VI. Mais donnons désormais à la particule, dans l'état primitif, la forme sphérique en prenant $\varepsilon'' = \varepsilon' = \varepsilon$. Tous ses systèmes de diamètres conjugués seront rectangulaires, y compris celui qui, après les déplacements proposés ξ, η, ζ, devient le *système des axes* de l'ellipsoïde transformé (4). Ainsi, le système particulier de fibres qui, dans la particule sphérique, fournit après déformation les axes de l'ellipsoïde, constitue *un trièdre trirectangle dont la figure n'est pas altérée par cette déformation*.

Nous admettrons qu'on ait précisément choisi ces fibres pour MA, MB, MC; et, par définition même, les trois glissements mutuels g_a, g_b, g_c seront alors nuls, chacune des trois, MA, ou MB, ou MC, étant restée normale aux deux autres et, par suite, au feuillet matériel, BMC, ou CMA, ou AMB, qui lui était déjà perpendiculaire avant les déplacements.

Il existe donc, pour toute particule qui subit une déformation *déterminée*, trois directions rectangulaires entre elles, dites *principales*, suivant lesquelles les fibres de la particule conservent leur normalité aux feuillets qui leur étaient perpendiculaires avant la déformation. Par suite, celle-ci se fait *symétriquement* de part et d'autre des feuillets en question, de BMC par exemple; car si l'on admet, pour fixer les idées, qu'on maintienne le feuillet BMC dans son plan, deux points matériels symétriques K et K_1 situés de part et d'autre, ou dont la fibre de jonction KJK_1 était perpendiculaire au feuillet en son milieu J, se déplaceront sans cesser d'être symétriques, leur droite de jonction KJK_1 conservant sa normalité au feuillet, et ses deux moitiés KJ, K_1J se dilatant (ou se contractant) pareillement.

Ainsi la déformation de la particule se fait toujours symétriquement de part et d'autre de trois certains feuillets rectangulaires, qu'on appellera les *plans principaux* et qui seront ceux s'intersectant suivant les trois *fibres principales*.

VII. Concevons les mouvements effectifs de la particule rapportés à des *axes locaux*, *des h*, *k*, *l*, issus du point matériel M et *constamment parallèles aux axes généraux fixes des x*, *y*, *z*.

Par rapport à de tels axes qu'entraîne la translation du point M ou de la particule, les mouvements se réduiront à celui de *déformation*, censé se faire de part et d'autre des trois feuillets principaux BMC, CMA, AMB, maintenus dans leurs directions, et à la rotation effective du trièdre MABC, censée avoir lieu une fois qu'est produite la nouvelle configuration de la particule.

Les déplacements à considérer du point K seront $\xi_1 - \xi$, $\eta_1 - \eta$, $\zeta_1 - \zeta$;

et il faudra les obtenir en fonction des coordonnées primitives h, k, l de ce point. Exprimons-les d'abord *pour le mouvement de déformation pur*, et au moyen des déplacements $a'-a$, $b'-b$, $c'-c$ par rapport au système des fibres principales MA, MB, MC (de direction ici invariable). Si nous appelons ∂_1, ∂_2, ∂_3 les trois *dilatations principales* ∂_a, ∂_b, ∂_c et $(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1)$, $(\alpha_2, \beta_2, \gamma_2)$, $(\alpha_3, \beta_3, \gamma_3)$ leurs cosinus directeurs respectifs par rapport aux axes soit des x, y, z, soit des h, k, l, les équations (2) nous donneront, comme déplacements suivant MA, MB, MC, $\partial_1 a$, $\partial_2 b$, $\partial_3 c$; et des formules évidentes de transformation de coordonnées, applicables aussi aux déplacements, permettront ensuite d'écrire:

(5) $\xi_1-\xi=\alpha_1\partial_1 a+\alpha_2\partial_2 b+\alpha_3\partial_3 c,\quad \eta_1-\eta=\beta_1\partial_1 a+\ldots,\quad \zeta_1-\zeta=\gamma_1\partial_1 a+\ldots;$

(6) $a=\alpha_1 h+\beta_1 k+\gamma_1 l,\qquad b=\alpha_2 h+\ldots,\qquad c=\alpha_3 h+\ldots.$

Portons les valeurs (6) de a, b, c dans les expressions (5) des déplacements; et si, pour abréger, nous posons

$$(7)\quad \begin{cases} A=\alpha_1^2\partial_1+\alpha_2^2\partial_2+\alpha_3^2\partial_3, & B=\beta_1^2\partial_1+\ldots, \quad C=\gamma_1^2\partial_1+\ldots,\\ D=\beta_1\gamma_1\partial_1+\beta_2\gamma_2\partial_2+\beta_3\gamma_3\partial_3, & E=\gamma_1\alpha_1\partial_1+\ldots, \quad F=\alpha_1\beta_1\partial_1+\ldots, \end{cases}$$

il viendra

(8) $\xi_1-\xi=Ah+Fk+El,\quad \eta_1-\eta=Fh+Bk+Dl,\quad \zeta_1-\zeta=Eh+Dk+Cl.$

VIII. Il ne reste plus qu'à joindre à ces déplacements partiels ceux que donne finalement la rotation effective autour de M du trièdre MABC des fibres principales. Évaluons-les dans l'hypothèse *habituelle* que les neuf dérivées partielles de ξ, η, ζ en x, y, z soient petites, ou aient leurs produits et carrés négligeables : ce qui impliquera, tout à la fois, que la rotation soit petite et que la déformation n'ait apporté aux coordonnées primitives h, k, l que de faibles altérations relatives. Soient alors ω_x, ω_y, ω_z les trois composantes, suivant les x, y, z ou les h, k, l, de la rotation effective du trièdre des fibres principales autour de leur point M de croisement. On sait que les accroissements de $\xi_1-\xi$, $\eta_1-\eta$, $\zeta_1-\zeta$ qu'elle entraînera seront $\omega_y l-\omega_z k$, $\omega_z h-\omega_x l$, $\omega_x k-\omega_y h$. Et les formules (8) ainsi complétées deviendront

$$(9)\quad \begin{cases} \xi_1-\xi=Ah+(F-\omega_z)k+(E+\omega_y)l,\\ \eta_1-\eta=(F+\omega_z)h+Bk+(D-\omega_x)l,\\ \zeta_1-\zeta=(E-\omega_y)h+(D+\omega_x)k+Cl. \end{cases}$$

Or $\xi_1-\zeta$, $\eta_1-\eta$, $\zeta_1-\zeta$ sont les excédents $h'-h$, $k'-k$, $l'-l$ des nouvelles coordonnées du point quelconque K de la particule sur ses coor-

données primitives h, k, l; en sorte qu'ils égalent identiquement les derniers membres de (1) diminués de h, k, l. L'identification donne alors, comme valeurs des neuf dérivées partielles premières de ξ, η, ζ en x, y, z :

$$(10)\quad \begin{cases} \dfrac{d\xi}{dx} = \mathrm{A}, & \dfrac{d\xi}{dy} = \mathrm{F} - \omega_z, & \dfrac{d\xi}{dz} = \mathrm{E} + \omega_y; \\ \dfrac{d\eta}{dx} = \mathrm{F} + \omega_z, & \dfrac{d\eta}{dy} = \mathrm{B}, & \dfrac{d\eta}{dz} = \mathrm{D} - \omega_x; \\ \dfrac{d\zeta}{dx} = \mathrm{E} - \omega_y, & \dfrac{d\zeta}{dy} = \mathrm{D} + \omega_x, & \dfrac{d\zeta}{dz} = \mathrm{C}. \end{cases}$$

IX. On en déduit immédiatement, entre autres conséquences remarquables,

$$(11)\quad \frac{1}{2}\left(\frac{d\zeta}{dy} - \frac{d\eta}{dz}\right) = \omega_x, \qquad \frac{1}{2}\left(\frac{d\xi}{dz} - \frac{d\zeta}{dx}\right) = \omega_y, \qquad \frac{1}{2}\left(\frac{d\eta}{dx} - \frac{d\xi}{dy}\right) = \omega_z.$$

Donc *les rotations moyennes de Cauchy*, exprimées par les premiers membres de ces formules, peuvent être nommées simplement les *rotations de la particule* (x, y, z) du corps; car ce sont bien de vraies rotations, des *mouvements d'ensemble*, autour de M, d'une figure à trois dimensions lui appartenant, savoir les rotations effectives ω_x, ω_y, ω_z du trièdre *géométrique* des fibres principales, qui a constitué en quelque sorte la charpente *idéale* de la particule, ou comme une substruction résistante formée de plans de symétrie et cachée sous la matière, substruction ou charpente dont la déformation de celle-ci a respecté intégralement les angles et la figure [1].

OCÉANOGRAPHIE. — *Bathyrhéomètre enregistreur*. Note de M. **Yves Delage**.

Le problème de la mesure des courants de surface paraît résolu d'une façon à peu près suffisante; mais, pour la mesure des courants de fond, avec enregistrement de leur direction et de leur vitesse, les océanographes ne paraissent pas actuellement en possession d'un appareil convenablement approprié. Les instruments, ou n'enregistrent pas (flotteur Mitchell, flotteur du *Challenger*, appareil de Stahlberger), ou ne donnent qu'une totalisation des effets au moyen d'un compte-tours à cadrans (mesureur Arwidson, de Pillsbury, tourniquet de Woltmann, etc.), qui ne fournissent aucun ren-

---

[1] Quant au même trièdre *physique*, ou à faces et arêtes matérialisées dans les feuillets principaux et les fibres principales, il a éprouvé les trois dilatations ∂_1, ∂_2, ∂_3.

seignement sur les variations du courant suivant le temps. C'est cette lacune que j'ai tenté de combler, lacune importante, car on comprend tout l'intérêt qu'il y aurait à savoir d'une façon précise à quelle profondeur et avec quelle intensité les courants de marée se font sentir au niveau du sol sous-marin, et surtout à connaître les courants permanents déterminés par des causes d'une autre nature et qui jouent un si grand rôle dans le charriage des sédiments, dans la répartition géographique d'un grand nombre d'animaux marins et dans la dissémination de leurs larves.

La difficulté réside spécialement dans la presque impossibilité de mettre les organes de transmission et d'enregistrement à l'abri du contact avec l'eau de mer, sous les fortes pressions auxquelles on opère. Si l'on emploie des plaques s'inclinant sous la poussée du courant, ou des hélices mues par lui, il devient nécessaire, pour empêcher l'eau de s'infiltrer dans la boîte contenant les enregistreurs, d'exercer sur les tiges de transmission une pression incompatible avec la liberté de mouvement qui leur est nécessaire.

On éviterait cet inconvénient en employant, au lieu d'organes mus par le courant, des tambours de Marey se déprimant sous leur pression. Mais aux profondeurs où l'on est obligé d'opérer, il faudrait gonfler fortement la paroi élastique de ces tambours pour les mettre en équilibre avec la pression hydrostatique et, dans ces conditions, la faible différence de pression déterminée par le courant ne produirait sur les tambours aucun effet appréciable.

Les systèmes dans lesquels l'appareil enregistreur serait situé hors de l'eau et relié aux organes immergés par un fil électrique ou par un câble-transmission souple présenteraient soit des difficultés d'étanchéité du même genre, et plus grandes encore, soit des inconvénients résultant de l'inertie et rendant impossible l'inscription des vitesses faibles. Je crois inutile d'insister sur ces faits que reconnaissent tous ceux qui s'occupent de questions de ce genre.

Je me suis proposé d'établir un appareil entièrement immergé et capable d'enregistrer la direction et les vitesses des courants *sans présenter aucun organe extérieur*.

Sans décrire dans ses détails l'instrument en question, je vais indiquer d'après quels principes il a été construit.

Il se compose essentiellement d'une sphère creuse en cuivre S, d'environ $0^m,50$ de diamètre, dont la densité moyenne (y compris le poids des organes qu'elle renferme) est moindre que celle de l'eau, en sorte qu'elle possède une force ascensionnelle, que l'on peut d'ailleurs augmenter ou

réduire à volonté au moyen de disques de plomb formant lest et situés à son intérieur.

Cette sphère est reliée par une tige de cuivre T à une sorte de traîneau en bois Tr, fortement lesté, destiné à la maintenir au fond de la mer. L'union de la tige avec la sphère est rigide; celle de la tige avec le traîneau se fait par un joint cardan O permettant les inclinaisons de la sphère dans tous les azimuts, mais s'opposant à toute rotation autour de son axe, représenté par la tige qui la supporte.

Si l'on suppose qu'à l'intérieur de la sphère, au point diamétralement opposé à celui par lequel elle est fixée sur sa tige, soit suspendu un pendule, on voit que, lorsque la sphère s'inclinera sous la poussée du courant, le pendule, restant vertical, formera avec l'axe de la sphère un angle dont l'ouverture variera selon l'inclinaison de la sphère et sera fonction de la vitesse du courant; en outre, la direction du courant sera dans le plan déterminé par l'axe de la sphère et la tige de suspension du pendule.

Tel est le principe de l'appareil dans ses termes les plus généraux; mais il y a loin de là à une solution complète de toutes les difficultés que présente le problème.

Il faut, en effet, enregistrer à la fois la direction d'inclinaison du pendule et l'angle qu'il forme avec la verticale; et ces indications doivent être fournies suivant le temps, tout en restant toujours distinctes l'une de l'autre.

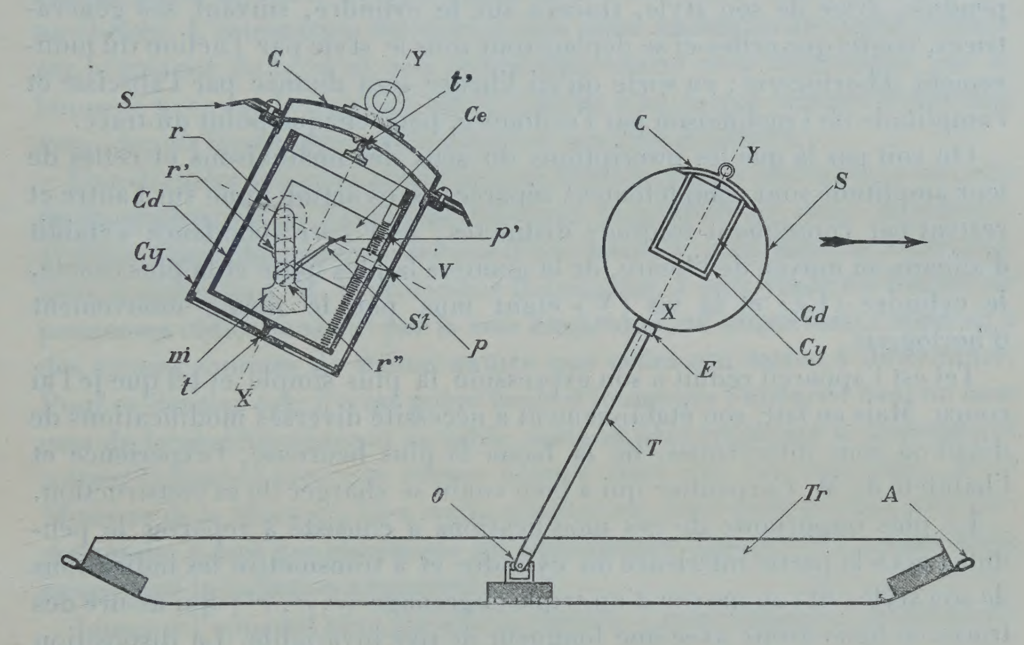
Or, si l'on suppose que le pendule soit muni d'un style traçant ses inscriptions sur une surface sphérique creuse ayant pour centre le point de suspension du pendule et entraînée par un mécanisme d'horlogerie, en un mouvement de rotation autour de l'axe de la sphère, on voit tout de suite que, si la grandeur de l'angle d'inclinaison du pendule est toujours correctement indiquée par les ordonnées radiaires, il y a confusion complète entre les effets des variations du sens d'inclinaison du pendule et ceux du mouvement d'horlogerie destiné à marquer l'heure, lesquels s'inscrivent l'un et l'autre suivant les abscisses circulaires. Cette difficulté est plus embarrassante qu'elle ne paraît.

Sans insister sur les divers moyens auxquels on pourrait songer pour y remédier, je dirai tout de suite à quelle solution je me suis arrêté, la trouvant la plus simple, la plus précise et la plus élégante parmi celles qui me sont venues à l'esprit.

L'appareil, dans son ensemble, est trop encombrant pour que j'aie pu songer à le présenter à l'Académie. D'ailleurs, ce qui concerne le traîneau, la tige avec son articulation à la cardan et la sphère de cuivre est très

facile à saisir (voir les figures); je ne présente ici que l'appareil enregistreur, qui est la partie la plus intéressante de l'instrument.

Cet appareil est contenu dans un cylindre creux (Cy) dont l'axe coïncide avec celui (XY) de la sphère et qui est rattaché à celle-ci d'une manière invariable. La calotte (C) de cette sphère qui porte le cylindre est amovible, étant rattachée au reste de la sphère par des boulons. A l'intérieur de ce cylindre est un cadre rectangulaire vertical (Cd), fixé à un axe en coïncidence avec celui de la sphère et qui lui permet de tourner au moyen des tourillons (t, t') à l'intérieur du cylindre, en restant toujours à égale distance de sa surface. Ce cadre, symétrique au point de vue géométrique, est asymétrique au point de vue mécanique, l'un de ses côtés verticaux (ici, celui de droite, dans les figures) étant plus lourd que l'autre. Par suite de ce fait, lorsque la sphère s'incline dans divers sens, le cadre tourne autour de son axe et son côté lourd s'oriente toujours dans le sens de la plus grande pente. Ce cadre est muni, le long de son bord vertical le plus lourd, d'un style inscripteur (p), qui donne sur la face intérieure de la paroi du cylindre fixe (Cy) un tracé dont chaque point marque le sens de l'inclinaison de la sphère au moment où il a été inscrit. Ce style inscripteur étant mû le long du bord vertical du cadre par une vis (V) qui, au moyen d'un mouvement d'horlogerie, lui fait parcourir en 24 heures toute la hauteur de ce bord, le



tracé se trouve repéré quant au temps, l'heure étant donnée par l'ordonnée du point inscrit et le sens d'inclinaison par l'abscisse.

Ce même cadre porte un cylindre enregistreur (Ce) dont l'axe est horizontal et situé dans le plan du cadre. Ce cylindre, étant entraîné par le cadre dans ses mouvements de rotation autour de son axe, aura toujours ses génératrices dans le plan du cadre et par conséquent dans le plan de l'inclinaison de l'appareil ou parallèles à ces mêmes plans. Par suite le pendule, armé de son style, tracera sur le cylindre, suivant ses génératrices, tandis que celles-ci se déplaceront sous le style par l'action du mouvement d'horlogerie; en sorte qu'ici l'heure sera donnée par l'abscisse et l'amplitude de l'inclinaison par l'ordonnée, pour chaque point du tracé.

On voit par là que les inscriptions du sens des inclinaisons et celles de leur amplitude sont complètement séparées, sans action l'une sur l'autre et restent par conséquent toujours distinctes; leur correspondance s'établit d'ailleurs au moyen de l'heure, de la manière la plus nette et la plus exacte, le cylindre (Ce) et la vis (V) étant mus par le même mouvement d'horlogerie.

Tel est l'appareil réduit à son expression la plus simple et tel que je l'ai conçu. Mais en fait, son établissement a nécessité diverses modifications de détail où sont intervenues, de la façon la plus heureuse, l'expérience et l'habileté de M. Carpentier qui a bien voulu se charger de sa construction.

La plus importante de ces modifications a consisté à reporter le pendule (m) à la partie inférieure du cylindre et à transmettre les indications de son style (St) au moyen d'un triple engrenage (r, r', r'') qui assure des tracés en ligne droite avec une longueur de tige invariable. La disposition est telle que les ordonnées donnent immédiatement les tangentes des angles que forme le pendule avec la verticale [1].

Pour que l'appareil fournisse des indications utiles, il faut que son orientation pendant le travail, par rapport à la ligne nord-sud, soit rigoureusement définie. Le principe de la solution de ce petit problème est déjà connu.

Sur le traîneau sera fixée une boussole à laquelle sera adjoint un mouvement d'horlogerie qui, au bout d'une heure ou deux, actionnera un déclic qui immobilisera l'aiguille de la boussole dans sa position actuelle.

Dès lors, voici comment je compte opérer.

---

[1] En fait, les tangentes d'angles doubles, mais cela importe peu, car sur le graphique seront inscrits non pas les tangentes, mais les angles eux-mêmes ou même les vitesses de courant correspondantes.

On immergera d'abord une ancre, puis lorsqu'elle aura mordu au fond, le traîneau portant l'appareil sera fixé au câble de l'ancre par une liaison en Y. A l'autre extrémité du traîneau, une liaison semblable le réunira à un second câble. Le traîneau sera alors immergé, le bateau marchant à petite vitesse, tandis qu'une traction assez énergique sera exercée sur le câble de manière à le maintenir toujours tendu depuis l'ancre qui est au fond jusqu'au bateau. Lorsqu'on sera assuré, par la longueur de câble filée, que l'appareil est arrivé au fond, on immergera une seconde ancre reliée par un orin à une bouée. L'orientation du chariot sera ainsi approximativement donnée par le compas du bord et son orientation exacte sera déterminée par la boussole fixée sur le traîneau, dont le déclic n'agira que lorsque le traîneau aura, depuis longtemps, pris au fond sa position définitive.

Une dernière question passablement délicate reste à résoudre : c'est celle de la graduation de l'appareil. On peut le graduer de deux manières : 1° d'une façon théorique au moyen d'une formule, pour laquelle notre confrère si compétent, M. le professeur Boussinesq, a bien voulu me fournir de précieuses indications ; 2° par la voie empirique, en soumettant l'appareil à des actions connues de même nature que celles qui seront à déterminer. Pour ce dernier cas, il n'est guère facile d'immerger l'appareil dans un courant de force déterminée et variable, mais on peut retourner le problème et traîner l'appareil avec une vitesse connue dans une eau immobile. M. le Ministre de la Marine a bien voulu m'autoriser, pour cette graduation expérimentale, à user des ressources du Laboratoire d'essai des Carènes où se trouve une installation appropriée.

Lorsque l'appareil aura été mis en service, j'aurai l'honneur d'entretenir l'Académie des résultats qu'il aura fournis.

M. Le Chatelier, en présentant l'Ouvrage de M. F.-W. Taylor, *Principes d'organisation scientifique des usines*, s'exprime comme il suit :

L'Ouvrage de M. F.-W. Taylor, dont la traduction est aujourd'hui offerte aux lecteurs français, donne un exemple extrêmement remarquable de l'application rigoureuse des méthodes scientifiques à un problème technique très complexe, l'organisation du travail dans les usines. La production journalière d'un ouvrier dépend d'un nombre considérable de facteurs distincts, principalement des conditions physiologiques inhérentes à sa nature humaine, de la perfection des outils mis à sa disposition, de

l'organisation du travail réglée par ses chefs d'atelier. Chacun de ces points de vue comporte lui-même un grand nombre de subdivisions. Au milieu de toutes ces variables, les tâtonnements empiriques restent impuissants à définir leur combinaison la plus favorable.

Dans la simple organisation du travail des métaux sur le tour, il n'y a pas moins de douze variables à faire entrer en ligne de compte; le savant ingénieur américain est parvenu à déterminer l'influence de chacune d'elles au moyen de mesures d'une extrême précision qui n'ont pas exigé moins de 25 années de travail continu et une dépense voisine de 1 million de francs. Ces études ont révolutionné dans le monde entier l'industrie de la construction mécanique.

Des applications différentes, d'une importance moindre, il est vrai, ont été réalisées dans d'autres industries, la maçonnerie, la construction automobile, etc. Nos ingénieurs français commencent à se préoccuper de ces méthodes nouvelles, qui sont aujourd'hui discutées avec passion de l'autre côté de l'Atlantique.

L'emploi de ces méthodes comporte des conséquences très importantes. Là où elles sont appliquables, elles permettraient de doubler et de tripler le rendement de chaque ouvrier sans augmentation de sa fatigue physique. On arrive à ce résultat en chronométrant au $\frac{1}{10}$ de seconde chaque mouvement de l'ouvrier et supprimant les mouvements inutiles; par exemple, un maçon fait en moyenne 4 mouvements inutiles de ses bras ou de ses pieds pour 1 seul mouvement réellement utile. On cherche ensuite le moyen à accélérer la vitesse de chaque mouvement utile en mettant sous la main de l'ouvrier tous les outils ou matériaux qu'il doit remuer, en étudiant les conditions de fatigue physiologique : intensité de l'éclairement, alternative de repos et de mouvement, valeur la plus favorable de l'effort musculaire. Enfin, le troisième point le plus délicat est l'étude des moyens d'action moraux capables d'inciter l'ouvrier à accepter la discipline très stricte qui lui est imposée. On utilisera pour cela des augmentations de salaires pouvant s'élever suivant les cas, de 30 à 100 pour 100 du taux normal, l'attribution d'une tâche individuelle rendant chaque ouvrier indépendant de l'activité de son voisin ou encore des échanges de vue cordiaux avec les syndicats ouvriers, etc.

L'application systématique de ces méthodes permettrait certainement de doubler du jour au lendemain la production et par suite la richesse de tous les pays. Mais cette organisation nouvelle du travail ne pourra être réalisée que par des ingénieurs profondément imbus de la *Méthode scientifique*.

M. G. **Bigourdan** fait hommage à l'Académie de la *Connaissance des Temps pour* 1914, publiée par le *Bureau des Longitudes*.

M. H. **Le Chatelier** fait hommage à l'Académie d'un Ouvrage intitulé : *Introduction à l'étude de la métallurgie. Le chauffage industriel.*

CORRESPONDANCE.

M. **Élie Metchnikoff** adresse des remercîments à l'Académie, qui l'a élu Associé étranger.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale, parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° La *Carte des fuseaux horaires de l'Afrique occidentale française* et la *Carte du Ouadaï*, dressées par le Service géographique des Colonies.

2° Trois fascicules de la *Mission du* Service géographique de l'Armée *pour la mesure d'un arc de méridien équatorial en Amérique du Sud, sous le contrôle scientifique de l'Académie des Sciences*, 1899-1906.

3° *La Météorologie en France et en Allemagne*, par E. Doublet. (Présenté par M. G. Bigourdan.)

4° *Leçons sur les principes de l'Analyse*, par R. d'Adhémar. (Présenté par M. Jordan.)

ASTRONOMIE. — *Sur le spectre de l'étoile nouvelle des Gémeaux.* Note de MM. **J. Bosler** et **P. Idrac**, présentée par M. Deslandres.

Nous avons obtenu à l'Observatoire de Meudon, autant que l'ont permis un ciel incertain et d'autres occupations, quelques clichés de l'étoile nouvelle découverte le 13 mars dernier dans la constellation des Gémeaux.

Nous nous sommes servis dans ce but d'un prisme objectif accouplé à un miroir de

$0^m,25$ d'ouverture et de $0^m,75$ de distance focale, spécialement destiné à l'étude préliminaire des comètes et des étoiles.

Les deux clichés de M. Idrac ont été pris les 22 et 28 mars sur plaques Lumière Σ et posés respectivement 10 et 18 minutes. Ceux de M. Bosler datent des 4 et 7 avril : des plaques Wratten Verichrome sensibles au jaune et au vert furent alors employées, et les poses ont été de 35 minutes et de 1 heure 10 minutes. Dans la deuxième série d'épreuves, l'étoile notablement plus faible était inférieure à la 6e grandeur.

On aperçoit sur nos clichés, comme le fait a déjà été signalé, la série complète des raies brillantes de l'hydrogène. Celles-ci, doubles et renversées, sont déplacées fortement vers le rouge et accompagnées d'une raie noire extrêmement large de même origine, déplacée elle-même vers le violet. On aperçoit aussi un spectre continu assez intense qui s'étend dans l'ultraviolet jusque vers λ365.

Mais le fait le plus intéressant est l'apparition de la raie principale des Nébuleuses, déjà observée lors des précédentes Novæ. Celle-ci s'accompagne d'une autre raie vers λ492 observée autrefois, en 1892, dans le spectre de la Nova Aurigæ. Comme dans ce dernier spectre, on reconnaît aussi, sur le cliché du 7 avril, un groupe de trois raies vers λλ580, 565 et 560 ainsi que le groupe déjà signalé vers λ460.

La transformation en Nébuleuse qui paraît constituer le terme final de l'évolution des Novæ est donc déjà commencée.

ASTRONOMIE. — *Sur la Nova Geminorum.* Note de M. **Fr. Iñiguez**, présentée par M. Bigourdan.

Dès le 16 mars dernier, j'ai obtenu des photographies du spectre de la nouvelle étoile des Gémeaux, et j'ai réussi tous les jours, sauf les 21 et 30 mars, où le ciel couvert a masqué l'étoile. Au total il a été obtenu ainsi 23 plaques, montrant la série des transformations du spectre. Comme les photographies ont été faites avec un prisme objectif, elles sont sans spectre de référence : les quelques longueurs d'onde que je citerai sont donc provisoires et leur dernier chiffre est incertain. D'ailleurs la largeur des lignes de longueur d'onde connue rend les mesures difficiles, car on ne sait où placer avec exactitude le fil du micromètre. En attendant qu'une discussion d'ensemble permette de vaincre ces difficultés, je me propose uniquement ici de décrire les variations les plus notables révélées par les plaques.

Spectre de raies brillantes. — Les plaques dont je me suis servi, à l'exception

d'une, sont *Agfa*, *Isorarapid*, sensibles uniquement depuis le bleu vers le violet. Du 15 au 19 mars, les raies de l'hydrogène, de H_β à H_ζ, et la raie K sont certainement brillantes. Le 16, la raie H_γ est traversée par une ligne d'absorption très accentuée ; le 17, les lignes H_γ et H_δ sont divisées par des lignes d'absorption, circonstance qui se présente seulement ce jour-là dans toute la série. Les 18 et 19, les bords des bandes H_γ, H_δ, H_ε et K sont plus intenses du côté rouge : il semble que ces bords sont des raies brillantes intenses, de la largeur ordinaire, placées sur des bandes lumineuses du spectre d'absorption. Dès le 20 mars, la bande brillante K disparaît, et l'on ne la voit plus les jours suivants. Les autres, celles de l'hydrogène, sont intenses, larges, bien définies sans distinction de bords, circonstance qui se conserve jusqu'au 24 ; de cette date au 27, les bandes brillantes cessent d'être uniformes et sont plus intenses sur leur côté violet. Les 27 et 28, les bandes de l'hydrogène sont uniformes et montrent une autre bande plus faible sur son côté rouge. Dès le 27, H_ε et H_ζ diminuent sensiblement d'intensité. Le 29, toutes les bandes brillantes ont le côté rouge plus intense avec l'apparence qu'elles présentaient les 18 et 19 : il semble que le 31 les bandes H_γ et H_ε sont traversées par des raies d'absorption.

L'intensité des radiations a augmenté depuis l'apparition de l'étoile jusqu'au 24 mars et ensuite elle a diminué constamment. La largeur des bandes brillantes de l'hydrogène dépassa parfois 24 unités d'Angström.

Spectre d'absorption. — Le spectre d'absorption a subi des modifications énormes. Il est formé en premier lieu des raies de la série de l'hydrogène de H_β, s'étendant diversement dans l'ultraviolet : sa plus grande extension a eu lieu du 23 au 25 mars, où l'on arrive dans les plaques à $H_\varkappa$. Depuis le 27, la région ultraviolette s'est affaiblie continuellement et le 5 avril on ne voit distinctement que jusqu'à H_η. Les autres raies de l'hydrogène s'affaiblissent, elles aussi, et les 8 et 9 avril on ne les distingue plus sur les plaques. La coloration plus rouge de l'étoile s'explique parfaitement par l'extinction des radiations ultraviolettes. Les 16 et 17 mars le spectre est assez riche en raies qui sont plus abondantes entre H_γ et H_β; il est plus pauvre le 18 et presque toutes ces raies ont disparu le 19. Les raies d'absorption de l'hydrogène de H_β à H_ε se montrent toujours du côté violet des raies brillantes, mais à des distances différentes; au commencement les raies obscures sont placées tout à côté des brillantes mais, dès le 20 mars, elles se séparent de plus en plus vers le violet jusqu'au 25. Une particularité très notable se montre pour la première fois le 20 : les raies obscures H_γ et H_δ semblent dédoublées, montrant sur la large bande d'absorption qu'elles forment une raie brillante, où la portion violette de la bande d'absorption est plus intense que celle du côté rouge; cette apparente duplication se conserve les jours suivants jusqu'au 25; les composantes étaient de la même intensité les 23 et 24; sur H_β on observe aussi la même particularité qui semble se produire également dans d'autres raies obscures. La duplication est perceptible aussi le 3 avril. Le spectre d'absorption est le plus riche les 24 et 25 mars et les raies obscures sont plus fines, car en général elles se montrent larges et diffuses. Rarement on observe des raies d'absorption au delà de H_ε; le 3 avril on en a observé quatre dont les longueurs d'onde approchées sont λ 3917 — 3938 — 3947 — 3960. Entre H_ε et H_γ il y a toujours très peu de raies; le 3 avril une raie apparaît en λ 3221, assez intense, et cependant elle n'est pas visible

les autres jours, du moins sous cette forme. La section la plus riche en raies d'absorption se trouve entre H_γ et H_β : tantôt ces raies sont nombreuses, et tantôt elles sont presque toutes invisibles.

Spectre continu. — Les modifications du spectre continu ont été, elles aussi, très notables. Ce spectre se montre toujours formé de bandes alternativement obscures et brillantes, mais le nombre et la distribution des bandes change continuellement. C'est le 22 mars qu'il présente sa plus grande splendeur; les jours suivants il augmente en intensité entre H_β et H_γ, où il semble manifester une tendance à l'uniformité. En avril il s'affaiblit à l'extrême et cesse presque d'être visible sur les plaques.

Un fait plus particulièrement à remarquer, c'est la série de modifications qui ont eu lieu dans la région voisine de λ 4630, de côté et d'autre de cette région. Il y avait là une bande brillante assez intense dès le 25 mars; elle s'est rétrécie continuellement et tout ce qui reste à présent est une raie diffuse mais comparable en intensité à H_β et H_γ. Quelques bandes d'absorption du spectre continu se montrent parfois formées par des raies juxtaposées.

MÉCANIQUE ANALYTIQUE. — *Sur les liaisons d'ordre quelconque des systèmes matériels.* Note de M. **Étienne Delassus**, présentée par M. Appell.

1. Une liaison L_n d'ordre n est un système d'équations différentielles ordinaires entre les paramètres q et la variable t tel que les équations d'ordre n qui y figurent ne soient pas toutes des conséquences des équations d'ordres inférieurs à n et de leurs dérivées, mais que toutes les équations d'ordre supérieur à n soient des conséquences des équations d'ordres égaux ou inférieurs à n et de leurs dérivées.

Une liaison $\mathcal{L}_m$ entre des paramètres q et p conduit, par élimination des inconnues p entre les équations $\mathcal{L}_m$, à un certain système d'équations différentielles ordinaires, c'est-à-dire à une liaison L_n entre les paramètres q, l'ordre n pouvant, suivant les cas, être inférieur ou supérieur à l'ordre m; nous dirons que *la liaison L_n est réalisée par la liaison $\mathcal{L}_m$* : et l'on voit facilement qu'une liaison L_n d'ordre donné quelconque n peut toujours être réalisée au moyen d'une liaison $\mathcal{L}_m$ dont l'ordre peut être choisi arbitrairement à l'avance, la valeur $m = 0$ étant seule exclue, car elle entraîne toujours $n = 0$.

2. Supposons essentiellement m inférieur ou égal à n, seul cas présentant de l'intérêt au point de vue mécanique; si nous formons *toutes* les équations d'ordre n de $\mathcal{L}_m$ nous trouvons un groupe d'équations distinctes par rapport aux dérivées $p^{(n)}$ et un autre groupe d'équations ne contenant

pas les $p^{(n)}$, distinctes par rapport aux $q^{(n)}$ et entre lesquelles on peut éliminer les $p, p', \ldots, p^{(n-1)}$ pour obtenir *toutes* les équations d'ordre n de L_n et il restera un groupe d'équations intermédiaires distinctes par rapport aux $q^{(n)}$ et contenant les $p, p', \ldots, p^{(n-1)}$ non éliminables.

Quand ces équations intermédiaires n'existent pas, on dit que $\mathfrak{L}_m$ fournit une réalisation parfaite de L_n.

On voit immédiatement que :

Toute liaison L_n *possède des réalisations parfaites par des liaisons du même ordre.*

3. La notion de mouvement parfait, que j'ai indiquée dans de précédentes Notes pour le cas des liaisons du premier ordre, implique nécessairement l'idée de mouvement satisfaisant à la liaison du système et déterminé *complètement et sans ambiguïté* par les seules valeurs initiales des q et des q'.

Si donc cette notion peut se généraliser pour des liaisons $L_n (n > 1)$, on ne pourra admettre que la valeur $n = 2$ et avec cette restriction que les équations du second ordre de cette liaison L_2 seront linéaires par rapport aux q''. Nous désignerons par L_2^1 ces liaisons L_2 particulières. On est ainsi conduit à diviser les liaisons en deux classes :

Liaisons de première classe. — Ce sont les liaisons L_0, L_1 et L_2^1.

Liaisons de seconde classe. — Ce sont les liaisons L_2 autres que les L_2^1 et toutes les liaisons L_3, L_4, ...

La notion de mouvement parfait ne peut pas exister pour les systèmes à liaison de seconde classe.

4. Existe-t-elle pour tous les systèmes de première classe? Il nous suffit d'étudier les liaisons L_2^1. Si l'on cherche à faire une réalisation parfaite d'une telle liaison au moyen d'une liaison $\mathfrak{L}_1$, on trouve qu'en général ce n'est pas possible. *La condition nécessaire et suffisante pour qu'une liaison L_2^1 soit réalisable parfaitement au moyen d'une liaison du premier ordre est que toutes ses équations du second ordre puissent se mettre sous la forme*

$$\frac{d}{dt} f(q, q', t) = \varphi(q, q', t).$$

Soient L_2^2 ces liaisons L_2^1 particulières. Si, suivant la même méthode que pour les liaisons du premier ordre, nous considérons le système $S + S_1$ soumis à la liaison réalisante $\mathfrak{L}_1$ et *si nous donnons à ce système* $S + S_1$,

soumis à une liaison du premier ordre, linéaire ou non, des mouvements parfaits, il en résulte pour S des mouvements concrets qui sont indépendants de S_1, de la réalisation parfaite choisie et sont déterminés complètement et sans ambiguïté par les valeurs initiales des q et des q'. Ces mouvements seront par définition les mouvements parfaits de S soumis à L_2^2 et leurs équations montrent qu'ils vérifient le principe de M. Appell.

Si, maintenant, on prend une liaison L_2^1 quelconque, les L_2^2 n'étant pas exclues, on possède des réalisations $\mathcal{L}_1$, mais qui ne sont pas parfaites et donnent des équations intermédiaires. En prenant $\mathcal{L}_1$ dépendant de constantes arbitraires, on peut, comme dans le cas du premier ordre, faire en sorte que ces équations intermédiaires deviennent, à la limite, des identités et arriver ainsi à la notion de *réalisation à tendance parfaite d'une liaison* L_2^1 *par une liaison* $\mathcal{L}_1$ *non linéaire*. On sera encore conduit à des mouvements limites satisfaisant bien aux conditions des mouvements parfaits et qui, dans le cas d'une L_2^2, coïncident avec les mouvements parfaits précédemment définis. Nous les prendrons comme définition des mouvements parfaits et leurs équations montrent qu'ils vérifient encore le principe de M. Appell.

D'où cette conclusion :

La notion de mouvement parfait existe réellement pour tous les systèmes de première classe et les mouvements obtenus satisfont toujours au principe de M. Appell.

5. Quelle est la notion générale de mouvement concret ?

Soit $S + S_1$ le système total soumis à la liaison réalisante $\mathcal{L}$. Il nous faut pouvoir définir le mouvement de $S + S_1$ indépendamment de toute réalisation, c'est-à-dire le mouvement parfait de $S + S_1$ qui doit ainsi être de première classe. Ainsi :

Les mouvements concrets d'un système soumis à une liaison quelconque L *s'obtiennent au moyen des mouvements parfaits fournis par les réalisations de première classe de la liaison* L.

Ils sont donc fournis, dans tous les cas, par l'application du principe de M. Appell au système total $S + S_1$. Ce principe permet ainsi d'écrire, quelles que soient les liaisons imposées à un système, les équations de tous les mouvements dont on peut avoir la notion mécanique ; ce qu'on peut exprimer sous la forme :

Le principe de M. Appell est le principe absolument général de la dynamique

des systèmes sans frottement, à nombre fini de paramètres et soumis à des liaisons d'ordre quelconque.

6. Il est à remarquer qu'on peut développer une théorie analogue pour les systèmes soumis à des percussions données sans modification des liaisons. La première classe sera limitée aux liaisons L_1 linéaires par rapport aux q', de sorte que, pour les liaisons de première classe, il y aura toujours des réalisations parfaites et l'on n'aura pas à introduire les réalisations à tendance parfaite.

ÉLASTICITÉ. — *Sur les déformations de certains systèmes élastiques.* Note de M. B. **Mayor**, présentée par M. Appell.

Le principe de la réciprocité des déplacements de Maxwell permet, comme je l'ai indiqué antérieurement (1), de définir un complexe quadratique qui joue, dans l'espace, un rôle analogue à celui de l'ellipse d'élasticité des systèmes plans. Mais il peut conduire encore à des éléments géométriques d'un usage plus général et qui n'ont été signalés ni dans le cas du plan ni dans celui de l'espace.

Considérons, en effet, un solide élastique assujetti à des liaisons quelconques, mais constitué, par exemple, de manière qu'on puisse l'assimiler aux poutres à fibre moyenne qu'envisage la Résistance des matériaux et dont les sections transversales conservent une forme invariable.

Si, dans une section déterminée mais quelconque S' de cette poutre, on applique un système de forces ou *dyname* X, une autre section S'', quelconque également, subit un déplacement représenté par un système de rotations que nous appellerons le *torseur* Y. D'ailleurs, en désignant par $x_1, x_2, \ldots, x_6$ les coordonnées de X relativement à un système de six complexes linéaires, et par $y_1, y_2, \ldots, y_6$ les coordonnées du torseur Y relativement au même système, le principe de la superposition des effets des forces montre immédiatement qu'on a, en désignant par a'_{ik} des coefficients constants,

$$(1)\qquad y_i = \sum_{k=1}^{k=6} a'_{ik} x_k \qquad (i = 1, 2, \ldots, 6).$$

---

(1) *Bulletin technique de la Suisse romande*, 25 juin 1908, et *Statique graphique des systèmes de l'espace*. Gauthier-Villars, 1910.

Inversement, lorsqu'on suppose le dyname X appliqué à la section S'', les coordonnées du torseur qui définit le déplacement subi par S' ont pour expressions

$$\text{(II)} \qquad y_i = \sum_{k=1}^{k=6} a''_{ik} x_k \qquad (i = 1, 2, \ldots, 6).$$

D'autre part si, comme nous le supposerons dans la suite, les complexes coordonnés forment un système fondamental de Klein, la relation quadratique correspondante étant, en outre, réduite à la forme canonique

$$\sum x_i^2 = 0,$$

le principe de la réciprocité montre immédiatement qu'on a, quels que soient les indices i et k,

$$a'_{ik} = a''_{ki}.$$

En posant alors

$$a'_{ik} + a''_{ik} = 2\,A_{ik}, \qquad a'_{ik} - a''_{ik} = 2\,B_{ik},$$

et

$$\text{(III)} \qquad u_i = \sum_{k=1}^{k=6} A_{ik} x_k \qquad (i = 1, \ldots, 6),$$

$$\text{(IV)} \qquad v_i = \sum_{k=1}^{k=6} B_{ik} x_k \qquad (i = 1, \ldots, 6),$$

les formules de transformation (I) et (II) prennent respectivement les formes suivantes :

$$\text{(I')} \qquad y_i = u_i + v_i,$$

$$\text{(II')} \qquad y_i = u_i - v_i.$$

Or le Tableau des coefficients A_{ik} est symétrique par rapport à sa diagonale principale. La transformation définie par les formules (III) est alors du type de celle que j'ai déjà signalée et dépend essentiellement d'un complexe quadratique ayant

$$\sum A_{ik} x_i x_k = 0$$

pour équation. A un dyname X elle fait correspondre un torseur U qu'on peut qualifier de *principal* et qui, d'ailleurs, ne change pas lorsque, sans changer X, on intervertit les rôles des deux sections S' et S''.

Au contraire, la transformation définie par les formules (IV) est d'un type tout différent et fait correspondre à X un torseur V que nous appellerons le *torseur auxiliaire*. Comme on a évidemment $B_{ik} = - B_{ki}$, le déterminant de cette transformation est un déterminant symétrique gauche réductible, dans le cas de l'espace, à un carré parfait. On a d'ailleurs identiquement

$$\sum_1^6 v_i x_i = 0,$$

et le complexe d'action du torseur auxiliaire est toujours en involution avec le complexe d'action du dyname correspondant. Par suite, la correspondance qui relie ces complexes d'action est telle que les six complexes qui se correspondent à eux-mêmes sont très spéciaux et l'on peut démontrer qu'en général les directrices de ces complexes spéciaux forment un tétraèdre. De plus, en choisissant précisément ce tétraèdre comme système de référence, les formules de transformation se réduisent à la forme canonique

$$v_i = p_i x_i \qquad (i = 1, 2, \ldots, 6),$$

dans laquelle les coefficients p_i, qui correspondent à deux arêtes opposées, sont toujours égaux, mais de signes contraires.

A l'aide de ces résultats l'interprétation des formules (I′) et (II′) est immédiate et l'on voit que lorsqu'un dyname X agit dans la section S′, le déplacement de S″ est représenté par le torseur résultant du torseur principal U et du torseur auxiliaire V qui correspondent à X; lorsqu'au contraire X agit dans S″, le déplacement de S′ est donné par le torseur résultant du même torseur principal U et d'un torseur auxiliaire qui ne diffère de V que par le changement de sens de sa résultante générale. Enfin, lorsque les deux sections S′ et S″ coïncident, le torseur auxiliaire s'évanouit et l'on retrouve les résultats connus.

Il est bien évident que les formules inverses de (I) et (II) donnent lieu à des interprétations analogues et que tout ce qui précède subit, dans le cas des systèmes plans, des simplifications considérables, dont la plus importante résulte du fait que le déterminant de la transformation (IV) s'annule toujours.

PHYSIQUE MATHÉMATIQUE. — *Les bases géométriques de la mécanique statistique*. Note de M. **Émile Borel**.

On sait quelle est l'importance qu'ont prise en physique moléculaire les considérations empruntées à l'espace à N dimensions, N étant un nombre très grand (de l'ordre de 10^{24}). Je suis persuadé qu'il y aurait grand intérêt à étudier à part les propriétés géométriques d'un tel espace, en les séparant nettement des conséquences déduites de la forme particulière des équations de la dynamique (théorème de Liouville). J'ai déjà indiqué, il y a quelques années [1], comment, dans le cas le plus simple, la loi de répartition des vitesses de Maxwell équivaut à une propriété élémentaire des sphères à N dimensions. Je resterai aujourd'hui sur le terrain purement géométrique, réservant pour une autre occasion les applications mécaniques.

I. *Définitions.* — Je conviendrai de dire que N^α est *très grand d'ordre* α et que $N^{-\alpha}$ est *très petit d'ordre* α. Il importe de se rappeler qu'une quantité très petite est d'autant plus petite que son ordre de petitesse est plus grand; si cet ordre dépasse $\frac{1}{3}$ ou $\frac{1}{4}$ elle est inférieure aux plus petits rapports accessibles à l'expérience (10^{-8} à 10^{-6}).

On pourrait donner une forme abstraite entièrement rigoureuse à ce qui va suivre en supposant N *infiniment* grand et remplaçant *très* petit par *infiniment* petit.

II. *Figures régulières.* — Une *sphère* Σ de rayon unité est définie par l'équation

$$\sum_{1}^{N} x = 1;$$

une *zone* est une portion de la sphère comprise entre deux *plans* parallèles (par exemple, entre deux plans $x_1 =$ const.); cette *zone* est *équatoriale* si elle est partagée en deux parties égales par un plan diamétral; la *hauteur* de la zone est la distance des deux plans qui la limitent.

Cela posé, on peut affirmer qu'il suffit que la hauteur d'une zone équa-

(1) *Sur les principes de la théorie cinétique des gaz* (*Annales de l'École Normale*, 1906).

toriale atteigne ou dépasse un nombre *très petit* d'ordre inférieur à $\frac{1}{2}$ pour que cette zone, en surface et en volume, comprenne *presque toute* la sphère; d'une manière plus précise, la portion de la sphère non comprise dans cette zone équatoriale est, en surface et en volume, très petite d'ordre très élevé par rapport à la surface totale ou au volume total. Les mêmes propriétés subsistent si l'on considère la partie commune à un nombre très grand (d'ordre fini) de zones équatoriales dont les hauteurs atteignent ou dépassent un même nombre très petit d'ordre h inférieur à $\frac{1}{2}$ (la différence $\frac{1}{2} - h$ n'étant pas un nombre très petit).

Le « cube » à N dimensions a des propriétés analogues à celles de la « sphère »; il faut remplacer la zone équatoriale par la portion de ce « cube » comprise entre deux plans équidistants du centre et perpendiculaires à une même diagonale. On a aussi un théorème analogue pour le solide qui généralise le tétraèdre régulier.

III. *Solides irréguliers.* — Un ellipsoïde rapporté à ses axes

$$\sum_{1}^{N} a_i x_i^2 = 1$$

diffère d'autant plus de la sphère, c'est-à-dire est d'autant moins régulier, que les a_i diffèrent plus entre eux. On est naturellement conduit à prendre pour mesure de l'irrégularité un rapport tel que celui de la moyenne des carrés des a_i au carré de leur moyenne. Si ce rapport est très grand d'ordre supérieur à $\frac{1}{3}$, par exemple, l'ellipsoïde sera dit très irrégulier.

Lorsqu'un ellipsoïde n'est pas très irrégulier, sa surface est presque entièrement très voisine de celle d'une sphère qu'on peut appeler *sphère médiane*. Plus précisément, considérant deux sphères concentriques, l'une extérieure, l'autre intérieure à la sphère médiane et en différant très peu, la portion de la surface de l'ellipsoïde non comprise entre ces deux sphères est très petite par rapport à la surface totale. Cette propriété a des applications évidentes à toutes les questions dans lesquelles intervient le rayon vecteur de l'ellipsoïde.

IV. *Solides très irréguliers.* — L'étude des solides *absolument* irréguliers paraît malaisée; il semble même difficile, sinon impossible, de *définir*, au moyen de données en *nombre limité*, un tel solide de telle manière qu'il soit connu d'une manière précise, c'est-à-dire distingué de tous les autres. Un cas particulier intéressant et accessible est le suivant : l'équation qui définit

le solide peut être regardée comme la somme d'un petit nombre d'équations dont chacune définit un solide qui n'est pas très irrégulier (dans un espace dont le nombre de dimensions est de l'ordre de grandeur de N); il peut y avoir aussi dans l'équation un petit nombre de termes très irréguliers qu'on traitera à part. Il est possible, de bien d'autres manières, de définir un solide très irrégulier au moyen d'un petit nombre de solides qui ne sont pas très irréguliers.

V. *Remarque finale.* — On voit que la méthode que je viens d'esquisser consiste à étudier d'abord les solides réguliers, puis les solides qui ne sont pas très irréguliers, puis des classes particulières de solides très irréguliers. Il convient d'observer que des constantes a_i choisies au hasard dans un domaine borné conduisent en moyenne à une irrégularité bien plus faible que l'irrégularité moyenne des solides que nous considérons comme n'étant pas très irréguliers; on pourrait aussi arriver aux cas particuliers d'irrégularités signalés à la fin de IV en choisissant les constantes dans un petit nombre de domaines bornés très différents les uns les autres. Les propriétés des solides ainsi obtenus me paraissent pouvoir rendre des services dans l'étude de certaines questions soulevées par la théorie de l'équipartition de l'énergie.

PHYSIQUE. — *La foudre fuit-elle les conducteurs doués de self? Coup de foudre en spirale.* Note (¹) de M. J. **Bergonié**, présentée par M. d'Arsonval.

L'observation des coups de foudre peut donner des renseignements utiles pour consolider ou détruire certaines idées que nous nous formons *a priori* sur ces décharges atmosphériques dont la forme, l'énergie et les lois de propagation nous sont encore absolument inconnues. Le fait suivant n'a pas d'autre intérêt.

Il s'agit d'un coup de foudre survenu dans la nuit du 20 au 21 mars dernier dans la commune de Saint-Morillon, non loin du lieu dit *La Flouquette*, à la cote 34 environ.

En ce point, qui est un point culminant souvent frappé par la foudre, une ligne à trois fils, dont deux pour le téléphone, l'autre pour le télégraphe, suit le chemin

(¹) Présentée dans la séance du 9 avril 1912.

n° 2 allant de Saint-Morillon à La Brède. Cette ligne est équipée sur des poteaux en bois de pin ordinaire doublés aux tournants brusques de la route. Au moment du coup de foudre, les deux bureaux de La Brède et Saint-Morillon furent atteints par le fluide. Notamment, à Saint-Morillon, tous les fusibles des lignes téléphoniques furent fondus; les couvercles de porcelaine éclatèrent, le câble d'entrée ou plomb fut endommagé, les parafoudres grillés et les lignes mises hors d'usage. L'employé et sa femme aperçurent dans la nuit, à travers la porte vitrée de leur chambre, une lueur très intense et instantanée accompagnée d'un grand bruit.

J'ai pu examiner, trois jours après le coup de foudre, l'état des poteaux télégraphiques et les arbres voisins le long de la ligne frappée. Une dizaine de poteaux avaient été touchés plus ou moins gravement, tous situés aux points culminants et découverts : les plus atteints étaient sur le sommet, du côté de *La Flouquette*. Deux poteaux ont été complètement émiettés jusqu'au ras du sol; les fragments d'un poids variant entre 1^{kg} et 50^{g} avaient été projetés et couvraient un cercle de plus de 15^{m} de diamètre dont le point d'implantation du poteau occupait le centre. Deux autres poteaux moins atteints étaient restés debout, mais leurs bois étaient fendus, comme s'ils avaient éclaté, et l'une des moitiés, à certains endroits, semblait s'être déplacée dans le sens de la longueur par rapport à l'autre.

Les deux autres poteaux avaient été moins atteints, mais d'une manière toute particulière : *le météore avait suivi sur eux une ligne spirale* partant du boulon fixant les isolateurs et arrivant jusqu'au sol. Sur cette ligne creusée comme avec une gouge, le bois était enlevé sur une largeur de 5^{cm} à 7^{cm} et une profondeur de 1^{cm} à 3^{cm}. Pour l'un des poteaux, la spirale est irrégulière et il s'y mêle des éclatements et des déplacements de l'une des moitiés par rapport à l'autre : mais pour l'autre, la spirale est d'une *pureté* presque parfaite : elle fait un tour et demi de spire jusqu'au sol avec un pas de $2^{m},60$. Inutile de dire que, le long du poteau en question, il n'y avait ni fil de fer, ni veine plus ou moins pourrie ou conductrice, aucune cause expliquant simplement le chemin parcouru.

Il semble bien, d'après ces faits, que les décharges atmosphériques le long des conducteurs verticaux puissent suivre un trajet en spirale, d'une manière pour ainsi dire spontanée. S'il en est ainsi, d'où vient cette horreur que nous attribuons à la foudre pour les conducteurs doués de la moindre self?

PHYSIQUE. — *Sur la stabilité des tourbillons cellulaires.* Note de M. C. **Dauzère**, présentée par M. Deslandres.

Dans une Note récente [1], M. Bénard a montré l'analogie du relief lunaire avec celui des plaques de cire solidifiée que j'ai obtenues en 1907 dans des expériences sur les tourbillons cellulaires [2]. J'ai repris récemment ces expériences.

J'ai opéré d'abord avec de la cire d'abeilles blanche du commerce. La substance, préalablement fondue et filtrée, est versée en couches minces sur un bain de mercure de 8^{cm} d'épaisseur et 20^{cm} de diamètre chauffé au bain de sable. La surface du mercure reste parfaitement plane quand on la chauffe; elle forme un miroir d'une horizontalité parfaite qui permet l'observation et la photographie des tourbillons par les procédés optiques de M. Bénard [3].

Dans cet appareil, les tourbillons s'établissent presque immédiatement dans toute la nappe, après qu'on a versé la cire et se régularisent peu à peu, en général, si l'on maintient la température constante, à 90° par exemple. La grande mobilité de la surface du mercure, qui est agitée par les trépidations du sol, ne diminue en rien la stabilité des tourbillons et ne trouble jamais leur formation et leur régularisation; elle semble au contraire la favoriser dans certain cas en donnant aux tourbillons des impulsions qui les aident à surmonter l'inertie qu'ils opposent à tout changement de forme.

Par contre, la stabilité varie beaucoup avec la composition de la substance et avec la température. Par exemple, il suffit de faire bouillir quelques minutes avec l'eau la cire blanche du commerce pour changer complètement les phénomènes, bien que la composition de la substance ait été très peu modifiée. Dans la cire ainsi traitée, ou bien la division cellulaire met très longtemps à s'établir dans toute la nappe, ou bien, une fois établie, elle se détruit peu à peu quand on maintient la température constante entre 80° et 100°. On voit les tourbillons se détacher les uns des autres

---

(1) *Comptes rendus*, 29 janvier 1912, p. 260.

(2) C. Dauzère, *Recherches sur la solidification* (*Journal de Physique*, 4e série, t. VI, p. 892; 4e série, t. VII, p. 930).

(3) H. Bénard, *Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide* (*Revue générale des Sciences*, 1900, p. 1328).

en se contractant, leur image dans le champ devient de plus en plus pâle, et la plupart finissent par disparaître, la surface de la cire devenant plane. Au bout d'une demi-heure ou trois quarts d'heure de chauffe à 85°, il ne reste plus que quelques rares tourbillons isolés, disséminés dans la nappe; ces derniers, quoique bien affaiblis, peuvent subsister pendant plusieurs heures, sans que leur nombre augmente ou diminue, pourvu que la température reste constante. On peut dans la nappe, devenue homogène dans presque toute son étendue, créer artificiellement d'autres tourbillons en agitant la cire avec une baguette de verre; mais ces tourbillons ne sont pas stables, ils ne tardent pas à disparaître quand on abandonne le liquide au repos.

La forme des tourbillons isolés qui restent dans la nappe varie avec la durée du traitement auquel on a soumis la cire. Si l'ébullition avec l'eau n'a duré que quelques minutes, les tourbillons sont circulaires ou elliptiques; en mettant au point les cuvettes concaves de M. Bénard, on y distingue au centre un point brillant entouré d'un anneau sombre, autour duquel se trouve un bourrelet clair. Si l'ébullition a été prolongée pendant 10 à 15 minutes, les tourbillons ont des formes irrégulières ramifiées extrêmement variées et qu'il est impossible de décrire.

La stabilité des tourbillons restants est en relation avec la température. Si la température baisse, les tourbillons se contractent et disparaissent les uns après les autres et la surface devient plane dans toute son étendue. Si la température s'élève, les tourbillons grossissent et se multiplient par scissiparité, d'après le mécanisme qui a été décrit par M. Bénard pour la modification de l'état permanent avec la température. Un tourbillon d'abord circulaire grossit, s'allonge dans une direction, s'étrangle en un point de sa longueur, puis une cloison s'établit en ce point donnant deux cellules-filles contiguës, lesquelles grossissent à leur tour et se divisent comme la première, et ainsi de suite.

On obtient ainsi des familles de cellules en chapelets ou en amas, provenant chacune de la multiplication d'une seule cellule-tourbillon initiale. Les différents amas sont séparés les uns des autres par de larges espaces sans tourbillons, où les poussières en suspension dans le liquide ne se déplacent pas sensiblement; la surface de la nappe est à peu près plane dans ces régions, mais pas complètement, car on y aperçoit des filaments parallèles peu apparents appelés *coupures* de M. Bénard, et qui sont l'indice d'une convection très faible. Ces parties à peu près planes de la nappe diminuent peu à peu d'étendue, par suite de la multiplication rapide des tourbillons.

On peut ainsi, en faisant croître lentement la température, suivre pendant une heure ou deux la multiplication des cellules jusqu'à l'envahissement complet du champ, la vitesse de la transformation étant d'ailleurs réglée par la vitesse de la variation de

température. Quel que soit le point de départ, on obtient finalement la division de la nappe tout entière en cellules hexagonales contiguës, dont les dimensions paraissent être peu influencées par la forme des tourbillons initiaux.

Les phénomènes que je viens de décrire ressemblent beaucoup à ceux que présentent des cellules de ferments ou de microbes (levure de bière, mycoderma aceti, etc.). L'aspect de la nappe est celui qu'on observe quand on examine au microscope une goutte d'un bouillon de culture où se développent ces petits organismes; le mode de croissance et de multiplication est le même dans les deux cas. L'analogie signalée par M. Bénard entre les cellules-tourbillons et les cellules vivantes est ici vérifiée à un degré élevé.

En résumé, j'ai obtenu par convection calorifique dans une nappe liquide de faible épaisseur des tourbillons cellulaires isolés dont la stabilité diffère beaucoup de celle des tourbillons de M. Bénard. Cette différence me semble pouvoir s'expliquer par une modification de la tension superficielle du liquide résultant du traitement auquel il a été soumis (ébullition de la cire avec l'eau). On sait en effet que des variations très faibles dans la composition d'un liquide entraînent des variations notables dans la tension superficielle.

PHYSIQUE. — *Remarques sur la Communication précédente* (de M. Dauzère), par M. **Deslandres.**

M. Deslandres est heureux d'appeler l'attention sur les belles recherches de M. Dauzère, relatives aux courants de convection et aux tourbillons cellulaires qui se forment dans un liquide en couche mince, chauffé par le bas, ou abandonné ensuite au refroidissement dans l'air ambiant.

Ces phénomènes ont été déjà étudiés et de façon vraiment remarquable par M. Bénard qui, en réalité, a ouvert la voie, a reconnu plusieurs faits primordiaux, et a indiqué des méthodes simples et ingénieuses pour leur étude expérimentale. M. Dauzère a repris plusieurs expériences de M. Bénard, et a pu les compléter.

La division du liquide entier en cellules tourbillons, polygonales et juxtaposées, a été reconnu par M. Bénard, qui a annoncé leur persistance jusqu'à la solidification, et ce fait curieux que les premières parties solidifiées sont les limites des cellules. M. Dauzère, de son côté, a obtenu des couches liquides solidifiées, qui montrent avec une netteté frappante la division cellulaire antérieure; et même certaines de ces couches ont toutes

les particularités des régions de la Lune occupées par des cirques et si bien visibles avec tous leurs détails sur les belles photographies de MM. Lœwy et Puiseux. Il y a là un rapprochement qui intéresse fortement les astronomes.

Cependant on peut objecter que, dans les expériences de Bénard, la division en polygones existe dans le liquide entier; et que, dans la Lune, elle est limitée à une partie restreinte de la surface. Les expériences de M. Dauzère, exposées aujourd'hui, enlèvent à cette objection sa valeur. En effet, certaines modifications, au premier abord légères, changent profondément le régime des tourbillons; ils sont beaucoup moins stables avec des formes différentes, et au lieu d'être juxtaposées étroitement comme dans les premières expériences, ils se montrent isolés, et persistent isolés parfois pendant longtemps. Il reste à reconnaître les causes précises qui entraînent ces changements curieux.

Ces expériences peuvent fournir des indications utiles à la Météorologie et à l'Astronomie. J'ai remarqué plusieurs fois déjà que l'union d'un cyclone terrestre et d'un anticyclone était assimilable à un tourbillon cellulaire des liquides, et j'ai noté dans l'atmosphère du Soleil des polygones accolés, comparables à ceux de la Lune et des liquides.

A tous égards, il convient de poursuivre les recherches de MM. Bénard et Dauzère jusqu'au complet éclaircissement de la question.

PHYSIQUE. — *Sur un électro-chronographe à étincelles synchronisées.* Note de M. **A. Blondel**, présentée par M. P. Villard.

Dans les dispositifs enregistreurs très rapides fondés sur l'emploi de la photographie, il est très souvent utile de pouvoir enregistrer périodiquement le temps. Ce problème se pose, par exemple, pour la méthode électro-phonographique que j'ai décrite il y a quelques mois [1], et qui a pour objet d'enregistrer, au moyen de microphones agissant sur des oscillographes, les vibrations produites par des corps sonores plongés, soit dans l'air, soit dans l'eau.

On peut, comme je l'ai exposé récemment [2], obtenir ce résultat en

(1) *Congrès de l'Association française pour l'avancement des Sciences de Dijon*, août 1911. — L'enregistrement de la voix humaine avait déjà été réalisé par M. Devaux-Charbonnel, et antérieurement par moi-même.

(2) *Application de la syntonie acoustique et électrique à l'hydrotélégraphie* (*Comptes rendus*, t. **152**, p. 157, séance du 6 juin 1911).

inscrivant, avec un oscillographe, sur la même bande photographique que les oscillations des courants téléphoniques, les oscillations de voltage aux bornes d'un électro-diapason de fréquence connue et bien régulière.

Mais ce dispositif ne suffit pas pour mesurer les phénomènes avec une grande précision, car il reste à établir la concordance entre les différentes courbes [1].

La seule méthode qui permette de déterminer sûrement les points correspondants des différentes courbes à un instant donné, consiste dans la production d'étincelles lumineuses éclairant, pendant un instant très court, la fente ou la lentille cylindrique placée devant la bande photographique; il suffit alors, pour supprimer l'enregistrement oscillographique de l'électro-diapason, de répéter ces étincelles à des intervalles parfaitement réguliers et de durée connue.

On peut à cet effet faire vibrer le trembleur de la bobine d'induction qui produit les étincelles, non pas directement [2], mais par l'action d'un courant réglé lui-même par un électro-diapason bien régulier et avantageusement muni du dispositif de M. Guillet. En dérivation aux bornes, la bobine de cet électro-diapason est alimentée, sous une tension de 6 volts environ, par un petit électro-aimant agissant sur un trembleur indépendant formé d'une épaisse lame vibrante, de fréquence propre notablement supérieure à celle de l'électro-diapason (par exemple, 300 vibrations doubles pour un électro-diapason de 200 vibrations doubles). Cette condition permet de syntoniser très bien le trembleur avec l'électro-diapason tout en restant assez loin du point de résonance pour éviter de grandes variations dans l'amplitude

---

(1) On pourrait tracer des lignes de concordance à l'aide d'une équerre, si les déplacements de la bande photographique étaient rigoureusement parallèles aux bords de la bande, et si les spots, qui inscrivent les différentes courbes, se trouvaient toujours rigoureusement sur une même perpendiculaire à ces bords.

Mais, en pratique, ces conditions sont rarement remplies; il suffit, par exemple, que la lentille cylindrique de concentration qui forme les spots et ses génératrices soit légèrement oblique par rapport à l'horizontale, pour que les spots se déplacent eux-mêmes suivant des lignes obliques.

(2) J'ai essayé aussi dans ce but l'emploi des bobines d'induction à trembleur vibrant à une fréquence assez élevée pour donner une note musicale. Mais les trembleurs de ce genre, bien que parfaitement utilisables et plus simples, n'ont pas un fonctionnement aussi rigoureusement constant que les électro-diapasons, pour lesquels, grâce aux travaux de M. A. Guillet (*Comptes rendus*, 27 septembre 1909), on dispose actuellement de procédés de réglage précis et durables.

des vibrations, comme il s'en produit près de la résonance. La fréquence de 200 est un minimum pour la pratique.

Ce vibrateur porte un contact en platine, qui ouvre et ferme le circuit primaire d'une petite bobine d'induction, et qui est shunté à la manière ordinaire par un condensateur; le secondaire de la bobine d'induction charge un autre condensateur de quelques millièmes de microfarad, qui se décharge dans un déflagrateur à pointe métallique anti-arc (fer, zinc ou magnésium, etc.) donnant une longueur d'étincelle d'un ou deux millimètres; ce sont ces étincelles qui, jaillissant à chaque rupture du contact du trembleur, servent à éclairer la fente ou la lentille cylindrique; dans les deux cas, elles produisent instantanément sur le papier photographique une raie transversale qui en occupe toute la largeur et qui établit la concordance entre les différentes courbes enregistrées; mais le résultat ne peut être satisfaisant que si l'étincelle jaillit toujours exactement à la même phase du mouvement vibratoire et si elle est unique.

Si l'on ne prend pas de précaution spéciale, il se produit souvent plusieurs raies au lieu d'une seule et, en tout cas, les raies ne sont pas équidistantes; cette difficulté est éliminée par un parfait amortissement magnétique et électrique du système producteur d'étincelles. D'une part, j'ai amorti le contact du trembleur en le montant sur un support flexible, qu'on serre au moyen d'un tampon de caoutchouc pressé par une vis de réglage; il n'y a ainsi aucune vibration du contact. D'autre part, j'ai amorti les circuits électriques par l'introduction d'une résistance électrique suffisante pour rendre presque apériodiques les oscillations électriques engendrées dans le circuit primaire par la présence du condensateur; la résistance d'amortissement peut être placée dans l'un ou l'autre des deux circuits de la bobine, mais il est plus commode de la placer dans le circuit primaire. En étouffant ainsi les oscillations électriques, on empêche tout rallumage intempestif de l'étincelle au contact du trembleur (¹).

La régularité des étincelles est vérifiée d'une manière rigoureuse en enregistrant sur la même bande les vibrations de l'électro-diapason lui-même; mais on peut aussi faire la vérification par la méthode stroboscopique, en éclairant par les étincelles des traits de repère tracés sur l'extrémité d'une

(¹) Un autre procédé conduisant à peu près aussi efficacement au même résultat, consiste dans l'emploi de self-inductions, ou capacités additionnelles, calculées de façon que la période propre d'oscillation du circuit secondaire devienne trop longue pour permettre le rallumage de l'étincelle avant le retour du trembleur au contact; l'étincelle reste alors unique.

des branches de l'électro-diapason et en observant ces traits par rapport à un micromètre fixe. Tant que les étincelles ne sont pas bien réglées, ou si l'on opère un éclairage par une source indépendante, le trait de repère couvre plusieurs divisions de la graduation; dès que le réglage est obtenu, il se fixe sur une seule division et est parfaitement net; ce qui démontre une fixité parfaite de la phase à laquelle jaillit l'étincelle.

Ce dispositif d'étincelle synchronisé avec un électro-diapason rend rigoureuse la méthode électro-photographique (enregistrement et mesure des vibrations sonores par l'oscillographe), et peut recevoir, d'autre part, de nombreuses applications [1].

ÉLECTRICITÉ. — *Sur la mesure des différences de phase de deux courants alternatifs*. Note de M. C. CAMICHEL, présentée par M. P. Villard.

I. La considération des champs tournants dans l'espace ne présente pas en général d'intérêt pour les machines industrielles qui sont symétriques autour d'un axe, mais il n'en est pas de même dans les appareils de mesure et il peut être utile dans ce cas d'envisager un champ dont les trois composantes sont : $x = f_1(t)$, $y = f_2(t)$, $z = f_3(t)$, f_1, f_2, f_3 étant trois fonctions périodiques du temps de même période T.

En particulier, si l'on compose trois champs rectangulaires sinusoïdaux : $x = \mathrm{H}\cos\omega t$, $y = \mathrm{H}\sin\omega t$, $z = \mathrm{H}\sin(\omega t - \varphi)$, le champ résultant tourne dans un plan P dont la tracée sur le plan des xy fait avec l'axe des x l'angle φ. L'orientation du plan P indique donc la différence de phase φ, elle peut être déterminée par une plaque de tôle mince qui se place d'elle-même parallèlement au plan P, soit plus simplement par une bobine plate B supportée par une suspension à la Cardan; cette bobine est reliée à un téléphone dont le son s'éteint quand le plan des spires est parallèle au plan P.

II. La différence de phase peut aussi être mesurée par un procédé analogue à celui qu'on utilise en optique et qui consiste à analyser une

---

(1) On peut l'employer, par exemple, concurremment à la méthode de MM. L. Benoist et L. de Ricard, comme méthode chronographique pour l'étude des obturateurs photographiques. On peut l'employer également pour obtenir, en télégraphie sans fil, des étincelles musicales de fréquence rigoureusement constante, pour l'envoi des signaux vibrés sur des lignes télégraphiques ou téléphoniques, etc.

vibration elliptique en la rendant rectiligne par un *compensateur* et en l'éteignant par un *nicol* qui fait apparaître une *frange noire*. Le compensateur est constitué en électricité par une self-induction ou une capacité, variables d'une façon continue et connue à chaque instant; quant au nicol il est remplacé par une bobine plate B reliée à un téléphone.

L'appareil est donc constitué par deux bobines horizontales rectangulaires, sans fer, traversées par les deux courants dont on veut mesurer la différence de phase et par une bobine plate mobile autour d'un axe vertical parallèle au plan de ses spires. Quand le champ tournant produit est elliptique, la bobine exploratrice fait entendre un son qui ne s'éteint pour aucune position. Quand les deux champs sont en concordance de phase, ou décalés d'une demi-période, l'extinction du son a lieu complètement. La détermination se fait très facilement.

III. On peut également employer la méthode suivante : un transformateur à noyau de fer feuilleté a son primaire formé par deux enroulements a et b identiques; le secondaire c est relié à un téléphone. Les coefficients de self-induction étant l_1 pour l'enroulement a, l_2 pour l'enroulement b, le coefficient d'induction mutuelle étant m, on a, si ces enroulements sont identiques,

$$l_1 = l_2 = m.$$

Dans ces conditions si les deux circuits du primaire sont traversés par des courants alternatifs égaux et de sens contraire, la self-induction de chacun d'eux est exactement détruite par l'induction mutuelle.

On dérive sur la même force électromotrice alternative : 1° l'enroulement a et une self variable λ, connue à chaque instant; 2° l'enroulement b et une self inconnue x.

On donne à ces deux dérivations la même résistance ohmique. Lorsque $x = \lambda$, les deux dérivations étant traversées par deux courants égaux et exactement décalés d'une demi-période, tout son s'éteint dans le téléphone.

En d'autres termes, quand l'appareil est réglé, les enroulements a et b qui agissent sur le téléphone, n'interviennent plus que par leur résistance ohmique, et tout se passe comme si les deux dérivations ne contenaient que les deux self-inductions à comparer.

Pour vérifier que l'on a $l_1 = l_2$, on met les deux enroulements a et b en série, le téléphone doit être réduit au silence; une très légère modification de l'un des enroulements donne un son dans le téléphone.

Cet appareil est très facile à construire et les mesures se font avec une

très grande rapidité. On peut ainsi mesurer des coefficients de self-induction même très faibles, par exemple de l'ordre de 10^{-6} henry.

Ce procédé peut rendre des services aux constructeurs, car il permet d'obtenir, avec une très grande facilité et une erreur relative inférieure au millième, des copies des étalons de self-induction. Quand on veut reproduire une self-induction, après le réglage de l'égalité des résistances ohmiques des deux circuits dérivés, on enroule ou déroule le fil sur la bobine à construire jusqu'à ce que l'on obtienne le silence dans le téléphone; pendant le réglage, le fil non utilisé doit être constamment replié sur lui-même de façon à présenter une self-induction nulle, car la moindre boucle est suffisante pour rétablir le son dans le téléphone.

On peut également employer ce procédé à la mesure des capacités.

RADIOACTIVITÉ. — *La radioactivité des sources thermales de Saint-Lucasbad (Hongrie).* Note de M. **B. Szilard**, présentée par M. De Launay.

Parmi les sources très nombreuses du pays, celles-ci se distinguent aussi bien par leur température élevée que par leur abondance extrême. Ce groupe de sources, comprenant une vingtaine de griffons dispersés sur une surface de 1^{ha} environ, produit la quantité remarquable de 40 millions de litres d'eau par 24 heures, soit presque les $\frac{2}{3}$ de la production totale des principales sources françaises, production estimée par M. De Launay [1] à 68 millions de litres.

La température de l'eau des différents griffons varie de 24° à 68°C. et en moyenne peut être estimée à 40°. L'énergie calorique produite par jour s'élève donc à 160 millions de calories [2].

La teneur en matières solides est de $0^{g},7$ par litre d'eau; la quantité totale des matières dissoutes entraînées par l'ensemble des sources est de l'ordre de 28^{t} par jour.

Les expériences ont porté sur les produits (gaz, eau, boue) d'un étang, dit *bain de boue*, alimenté par 17 sources d'un débit total de 26000^{hl} par jour. L'eau de l'étang est pauvre en matières dissoutes ($0^{g},73$ par litre) et contient surtout du sulfate de potassium, sodium et calcium, du carbonate de chaux et de magnésium, puis des traces de sulfure et de chlorure de sodium, et de silice. Vu sa faible minéra-

(1) De Launay, *Recherche, captage et aménagement des sources thermominérales;* 1909, p. 202.

(2) Voir les considérations de M. De Launay, même Ouvrage, p. 166.

lisation, sa teneur en chlorures, sulfures, en silice, et considérant sa température et les propriétés radioactives de ses gaz occlus, je suppose que cette eau doit être, au moins en partie prépondérante, d'origine juvénile (1). La présence des sulfates s'explique facilement par le voisinage direct des sources sulfatées très concentrées provenant d'une montagne voisine et dont les roches supérieures sont riches en pyrites, les inférieures en dolomite (2).

L'eau, d'une température moyenne de 40°, d'une odeur légèrement sulfureuse, a dans l'étang une couleur grisâtre ; cette couleur est due à la quantité considérable de boue que l'eau apporte constamment et que les gaz charriés et exhalés par les sources maintiennent en effervescence permanente.

Les échantillons d'eau, de gaz et de boue, plusieurs de chacun, ont fait l'objet d'analyses, à Paris, dans un laboratoire spécialement installé, six jours après leur extraction. Pour les déterminations, je me suis servi d'un électromètre nouveau dont la description sera ultérieurement donnée.

L'émanation des eaux était extraite par une ébullition prolongée ; on a vérifié que l'émanation faisant l'objet des mesures ne provenait pas de sels dissous dans l'eau. Les gaz ont été directement dosés.

Les calculs habituels faits, il résulte de mes expériences que l'eau analysée contient au griffon $33,5 \times 10^{-10}$ curie (3) d'émanation du radium par litre d'eau, soit $45,9 \times 10^{-10}$ curie par gramme de sel dissous; les gaz renferment au griffon $90,8 \times 10^{-10}$ curie d'émanation du radium par litre de gaz.

La quantité hypothétique du radium nécessaire pour fournir la quantité d'émanation charriée par l'eau de l'étang, « puissance radioactive » d'après M. A. Brochet (4), serait de l'ordre de $0^g,30$.

La boue était desséchée et mise en solution d'abord à l'aide de l'eau régale, puis par fusion du résidu avec du bisulfate de potassium, ensuite par traitement à l'acide fluorhydrique. On a traité ainsi 200^g de boue et l'on a dosé le radium séparément dans chacune des solutions par la méthode de l'émanation. Elle contient, par gramme, la quantité de radium correspondante à $9,5 \times 10^{-10g}$ bromure de radium. Elle est donc de l'ordre de

(1) A. Gautier, *Comptes rendus*, t. 150, 1910, p. 436.

(2) Hébert et Munier-Chalmas, *Recherches sur les terrains tertiaires de l'Europe méridionale* (*Comptes rendus*, t. 85 et 86, 1877-1878).

(3) Les unités Curie étant adoptées par la Convention internationale, *je propose l'emploi général de cette unité pour les eaux minérales*, en se servant de sa fraction correspondante *à 10^{-10} curie et de rapporter cette unité à 1^l d'eau*. Ainsi l'on obtient des chiffres dont l'ordre varie de 1 à 1000 et par conséquent commodes à employer.

(4) *Comptes rendus*, 1910, p. 146.

deux cents fois plus riche en cette substance que les roches granitiques moyennes (¹).

CHIMIE PHYSIQUE. — *Sur le dosage des sulfates en solution, par la volumétrie physico-chimique.* Note (²) de MM. **Albert Bruno** et **P. Turquand d'Auzay**, présentée par M. Maquenne.

Il y a quelques années, MM. P. Dutoit et Duboux ont eu l'idée d'appliquer les méthodes physico-chimiques à l'analyse des vins et leurs premiers travaux à ce sujet ont fait l'objet en 1908 de deux Communications à l'Académie des Sciences.

La technique opératoire proposée par ces auteurs consiste à additionner de baryte $\frac{N}{4}$ un volume connu de vin, à déterminer la conductivité après chaque addition de baryte et à construire avec les valeurs ainsi obtenues une courbe représentative.

Cette courbe présente plusieurs points singuliers, dont un minimum qui, théoriquement, correspond à la précipitation totale des sulfates en solution.

En appliquant cette technique à de nombreux vins français, comparativement avec la méthode pondérale, nous avons reconnu que la concordance précitée est en défaut dans les trois quarts des cas. Nous avons eu l'explication de ce phénomène en étudiant systématiquement, par les mêmes procédés, des solutions connues renfermant de l'acide sulfurique, du sulfate de potasse, du bitartrate de potasse, de l'acide tartrique et de l'acide malique, soit purs, soit à l'état de mélange.

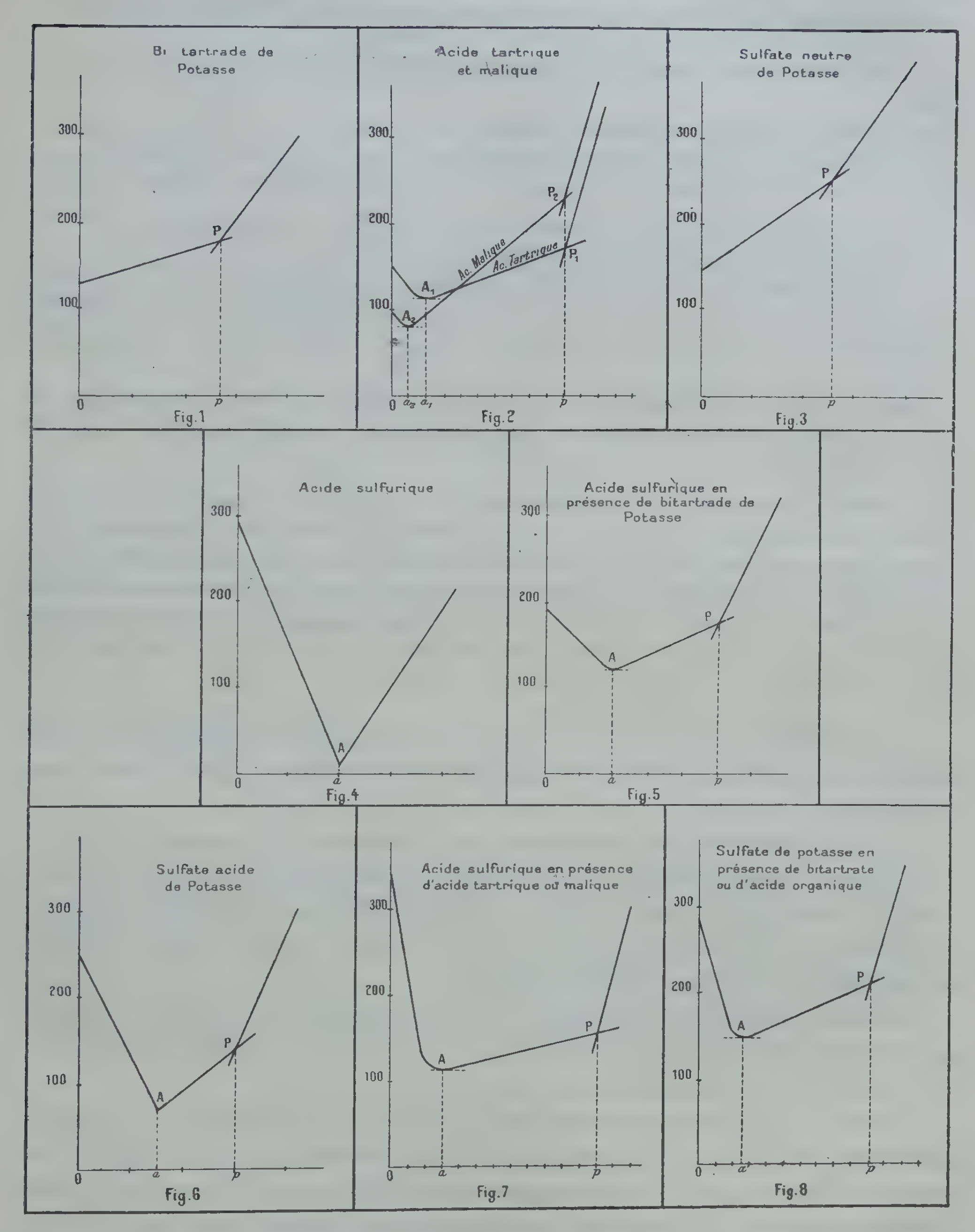
Il est curieux d'observer tout d'abord que si le bitartrate en solution simple donne une courbe d'allure exclusivement ascendante, les acides tartrique et malique, dans les mêmes conditions, en fournissent une qui montre une première branche descendante, par conséquent un minimum, variable avec la nature et la quantité d'acide en solution, et qui ne correspond évidemment pas à une précipitation de sulfate de baryum.

D'autre part, les divers cas où se produit une précipitation de SO^4Ba peuvent se grouper de la manière suivante :

(¹) D'après Joly (*Radioactivity and Geology*, p. 37), la teneur en radium des granites est de l'ordre de $4,7 \times 10^{-12}$ de radium par gramme de roche.

(²) Présentée dans la séance du 1er avril 1912.

I. *La courbe ne présente pas de minimum.* — C'est le cas d'une solution



simple de sulfate neutre de potassium où le terme de la précipitation est alors marqué par l'intersection de deux droites ascendantes.

II. *La courbe présente un minimum.* — C'est ce qui a lieu dans tous les autres cas que nous avons envisagés, qui peuvent se grouper comme suit :

1° Le minimum correspond *effectivement* et *exclusivement* à la précipitation totale avec :

a. L'acide sulfurique en solution simple;

b. L'acide sulfurique en présence de bitartrate.

La courbe est alors formée de trois droites, dont la première descendante.

2° Le minimum ne correspond *jamais* au terme de la précipitation avec :

c. Le sulfate *acide* de potassium en solution simple;

d. L'acide sulfurique en présence d'acide tartrique ou malique.

Dans le premier cas *c*, le minimum concorde avec la précipitation de la moitié de l'acide sulfurique en solution; il est donc *toujours antérieur* à la précipitation totale.

Dans le second *d* le minimum est *toujours postérieur* à cette précipitation, et nous avons démontré que la saturation de l'acide organique n'a lieu qu'après celle de l'acide sulfurique.

3° Enfin le minimum peut coïncider avec la précipitation totale dans le cas du sulfate de potassium, neutre ou acide, en présence de bitartrate ou d'acides organiques, mais ce n'est là qu'une circonstance purement fortuite sur laquelle on ne peut fonder aucune conclusion ferme. Le minimum peut en effet coïncider avec la précipitation totale comme il peut lui être antérieur ou postérieur, cela dépend des proportions des éléments en présence, et le minimum est avant tout fonction des équilibres complexes qui s'établissent au sein des solutions.

Ces conclusions subsistent entièrement lorsqu'au lieu d'opérer en milieu aqueux, on précipite en liqueur légèrement alcoolisée (8 ou 10 pour 100 d'alcool en volume).

Le cas particulier des vins rentre donc dans ceux du paragraphe II, 3° où, comme nous l'avons vu, la présence de bitartrate ou d'acides organiques vient influencer le dosage physico-chimique des sulfates, alors qu'elle ne modifie en rien leur dosage gravimétrique. Nous avons d'ailleurs vérifié très exactement ce dernier point.

Ainsi sont expliqués les écarts qui existent fatalement entre les résultats de la méthode physico-chimique et ceux de l'analyse ordinaire, par précipitation et pesée du sulfate de baryum.

Ces écarts, qui ont été trouvés 80 fois sur 100 supérieurs à deux centigrammes de sulfate de potasse par litre, montrent que la méthode des conductibilités, appliquée au dosage des sulfates dans les vins, ne comporte aucune certitude de précision, au moins dans sa technique actuelle, c'est-à-dire avec l'emploi exclusif de la baryte comme agent de réaction.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Oxydation de quelques cétohydrofuranes.* Note de M. **Georges Dupont**, présentée par M. A. Haller.

Le permanganate de potassium agit plus ou moins vivement sur les *cétohydrofuranes* : l'oxydation ouvre la chaîne fermée sur la fonction cétonique.

1° Lorsque le carbone substitué voisin de la fonction cétonique est tertiaire, la scission se fait de l'autre côté (en position β, β′) et donne un homologue de l'*acide diglycolique* :

(1)

$$\begin{array}{c} \beta \quad CO - CH^2\,\beta' \\ \alpha\ \dfrac{R}{R'}\!\!>\!C \qquad C\!<\!\!\dfrac{R}{R'}\ \alpha' \\ \diagdown O \diagup \end{array} + O^3 = \begin{array}{c} \dfrac{R}{R'}\!\!>\!C - CO^2H \\ | \\ O \\ | \\ \dfrac{R}{R'}\!\!>\!C - CO^2H \end{array}$$

2° Dans le cas du *dimethylcétohydrofurane*, la scission se produit au contraire entre la fonction cétonique et le carbone secondaire voisin, pour donner l'*acide acéto-β-oxybutyrique* :

(2)

$$\begin{array}{c} CO - CH^2 \\ CH^3 - CH \qquad CH - CH^3 \\ \diagdown O \diagup \end{array} + O^2 = \begin{array}{c} CH^3 - CH - CH^2 - CO^2H \\ | \\ O \\ | \\ CH^3 - C = O \end{array}$$

1° *Oxydation du tétraméthyl-cétofurane.* — Cette oxydation se produit en liqueur neutre en chauffant légèrement; après addition de la quantité théorique de permanganate, la liqueur neutre filtrée est additionnée d'acétate de plomb. Il se forme un abondant précipité qui peut être cristallisé dans l'eau bouillante. En traitant ce sel de plomb par l'*acide sulfhydrique* et extrayant à l'éther, on obtient l'*acide tétraméthyldiglycolique* pur :

$$\begin{array}{c} \dfrac{CH^3}{CH^3}\!\!>\!C - CO^2H \\ | \\ O \\ | \\ \dfrac{CH^3}{CH^3}\!\!>\!C - CO^2H \end{array}$$

Ce corps cristallise bien dans l'eau et fond à 153°-155°; extrêmement

soluble dans l'alcool, il l'est beaucoup moins dans l'eau et dans l'éther et très peu dans la benzine. La cryoscopie indique, pour poids moléculaire, 185 (th. 190).

MM. Jungfleisch et Godchot (1) ont indiqué la formation d'anhydrides internes par distillation des homologues moins élevés de l'acide diglycolique : l'acide *tétraméthyldiglycolique* se décompose par distillation, mais je n'ai pu, du produit recueilli, extraire l'anhydride attendu, dont la présence semble toutefois indiquée par le retour d'une forte proportion de ce produit en acide initial par l'action de l'eau.

L'*acide sulfurique* décompose le diacide en donnant de l'oxyde de carbone ; l'*anhydride phosphorique* produit le même effet et, en outre, j'ai pu mettre ici en évidence la formation d'acétone (dérivé bisulfitique et semicarbazone). Cette action est donc la même que celle de ces réactifs sur l'*acide oxyisobutyrique* (2) ; ce fait confirme la formule adoptée.

Sel de plomb. — Ce sel, tout à fait caractéristique, cristallise dans l'eau bouillante en longues aiguilles soyeuses, fondant à 266° et présentant à l'analyse la formule : $2C^8H^{12}O^5Pb, 7H^2O$.

Ces 7 molécules d'eau s'éliminent rapidement à 150° et sont reprises intégralement dans une atmosphère saturée, au bout d'un temps suffisant.

Éther diéthylique. — Cet éther, produit par action directe de l'acide sur l'alcool en présence de quelques gouttes d'acide sulfurique, bout à 114° sous 13mm : $D_{16} = 1,0173$; $n_0 = 1,4292$; $R_n = 62,36$ (calc. 62,75).

2° *Oxydation du diméthyldiéthylcétohydrofurane.* — L'action ne se produit ici qu'en présence d'une notable quantité de potasse. Le produit de la réaction, filtré, neutralisé, évaporé à sec dans le vide puis repris par de l'acide sulfurique étendu, donne, par extraction à l'éther, un mélange pâteux d'où l'on peut extraire deux corps :

1° Une fraction solide qui, recristallisée dans l'alcool, fond à 155°. C'est un premier isomère de l'*acide diméthyldiéthyldiglycolique*

$$\begin{array}{c} \left.\begin{array}{r} CH^3 \\ C^2H^5 \end{array}\right> C - CO^2H \\ | \\ O \\ | \\ \left.\begin{array}{r} CH^3 \\ C^2H^5 \end{array}\right> C - CO^2H \end{array}$$

(1) *Comptes rendus*, t. 144, p. 979 ; t. 145, p. 70 ; t. 146, p. 16.
(2) Bischoff et Walden, *Lieb. Ann. Chemie*, t. 279, 1894, p. 111.

donnant un *sel de plomb* anhydre, insoluble dans l'eau bouillante et qui se décompose vers 210°.

2° De la fraction visqueuse, obtenue à l'essorage, neutralisée et traitée par l'acétate de plomb, on tire un nouveau sel de plomb qui, traité par H^2S, donne un nouveau corps cristallin, très soluble dans tous les solvants et qui, cristallisé dans l'éther de pétrole, fond à 90°-92°. L'analyse et la cryoscopie assignent à ce corps la même formule qu'au précédent : c'est donc un deuxième isomère de l'*acide diméthyldiéthyldiglycolique*. L'existence de ces deux isomères stéréochimiques s'explique par la présence de 2^{at} de carbone asymétriques dans la formule.

Le *sel de plomb* de ce deuxième isomère fond à 252°, puis se décompose.

3° *Oxydation du diméthylcétofurane*. — L'oxydation en milieu neutre s'arrête, ici, après la fixation de 2^{at} d'oxygène par molécule. Après décoloration de l'excès de permanganate par de l'alcool et extraction de l'acide formé comme dans le cas précédent, on obtient un liquide incolore assez visqueux, bouillant sans décomposition à 132°-133° sous 12^{mm}. Le dosage alcalimétrique, l'analyse et la cryoscopie assignent à ce corps la formule $C^5H^9O^2 - CO^2H$.

Les données physiques $D_{18} = 1,1316$; $n_D = 1,4282$; $R_m = 33,12$ permettent le choix entre : 1° un *acide aldéhyde* formé par ouverture de la chaîne en $\beta\beta'$; 2° un acétate de l'*acide β-oxybutyrique* produit par ouverture en $\alpha\beta$ suivant la réaction (2).

Ce corps est bien l'acide *acéto-oxybutyrique*, car la neutralisation à chaud nécessite 2^{mol} de potasse par molécule d'acide (une seule suffisant d'ailleurs à froid). Le liquide neutre ainsi obtenu donne, avec le nitrate d'argent, un précipité cristallin assez caractéristique de l'acide β-*oxybutyrique*. Enfin cet acide extrait et distillé m'a donné de l'*acide crotonique* fondant à 72°, ce qui le caractérise complètement.

Dans ce dernier cas, la scission, par oxydation, de la chaîne fermée, s'est donc bien produite en position $\alpha\beta$ et non en position $\beta\beta'$ comme dans les deux autres cas. Le degré de substitution du carbone en position α influe donc sur la tournure de la réaction.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Action de l'oxyurée sur quelques éthers β-cétoniques.* Note de M. **André Meyer**, présentée par M. E. Jungfleisch.

L'hydroxylamine, réagissant sur les éthers β-cétoniques, produit, par élimination d'eau et d'alcool, des composés hétérocycliques, désignés sous

le nom d'*isoxazolones*. Les travaux de Bamberger, de Beckmann et de leurs élèves ont montré que les alcoyl- et les arylhydroxylamines, R — NHOH, se condensent avec les aldéhydes aromatiques, avec élimination d'eau. M. Conduché a étudié la même réaction avec l'*oxyurée*,

$$CO(NH^2)(NHOH),$$

qui fournit, avec d'excellents rendements, des *carbamidoximes*

$$Ar - \underbrace{CH - O - N}_{} - CONH^2.$$

Ces faits portent à se demander si, en remplaçant, dans la réaction qui engendre les isoxazolones, l'hydroxylamine par un de ses dérivés β-substitués, on obtiendrait ainsi des isoxazolones substituées à l'azote. J'ai, dans le but de répondre à cette question, étudié l'action de l'oxyurée sur quelques éthers β-cétoniques (acétylacétique, benzoylacétique, oxalacétique).

Le mode opératoire que j'ai employé est le suivant :

On prépare, à basse température, une solution hydroalcoolique d'oxyurée, par action de quantités équimoléculaires de cyanate de potassium et de chlorhydrate d'hydroxylamine, suivant la technique, à peine modifiée, de M. Conduché (¹).

Dans la liqueur maintenue à 10°, on verse avec précautions une solution alcoolique de l'éther β-cétonique. On maintient le tout à froid durant quelques heures, puis on abandonne pendant plusieurs jours à la température ordinaire. Il se forme un dépôt de KCl. L'excès d'alcool est évaporé sous pression très réduite et le résidu, fortement coloré en rouge ou en jaune et sentant l'ammoniac, est épuisé par un dissolvant approprié, éther acétique, chloroforme ou benzène bouillant. L'extrait est isolé par distillation du solvant dans le vide ou par précipitation fractionnée à l'aide d'éther de pétrole. On réalise une purification complète par des cristallisations répétées dans des dissolvants variés. Les rendements sont très médiocres, et je n'ai pu, pour cette raison, faire une étude approfondie de ces corps. Je me bornerai donc à indiquer ici les données expérimentales, en réservant toute considération concernant les constitutions.

I. L'*éther acétylacétique* fournit ainsi deux produits.

Le premier s'obtient en belles lamelles brillantes et translucides, fondant à 42°-43°, sans décomposition, et qui présentent à l'analyse la composition

$$C^7H^{14}O^5N^2,$$

confirmée par la cryoscopie, c'est-à-dire celle d'un produit d'*addition de*

(¹) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 8ᵉ série, t. XII, p. 533.

1^{mol} *d'éther acétylacétique à* 1^{mol} *d'oxyurée :*

$$C^6H^{10}O^3 + CO(NH^2)(NHOH) = C^7H^{14}O^5N^2.$$

Ce composé est très soluble dans l'alcool, assez soluble à froid dans l'acide acétique et très soluble dans l'éther acétique. Peu soluble dans la benzine, assez soluble dans ce liquide chaud, il se dissout assez bien dans l'éther bouillant et n'est presque pas soluble dans l'éther de pétrole. Sa solution aqueuse réduit le permanganate de potassium, mais ne réduit ni le nitrate d'argent ammoniacal, ni la liqueur cupro-potassique. Elle ne donne aucune coloration avec le perchlorure de fer. Ces réactions démontrent que la fonction hydroxylamine et la fonction énolique de l'éther acétylacétique sont intervenues dans la réaction.

On peut isoler dans la même opération un deuxième produit, dont les propriétés sont très voisines de celles du précédent, et auquel les analyses attribuent une demi-molécule d'eau en moins que ce dernier, c'est-à-dire la formule $C^7H^{12}O^4N^2 + 0,5\,H^2O$. La cryoscopie lui assigne un poids moléculaire correspondant. Ce corps cristallise de l'éther ou de la benzine en fines aiguilles incolores fusibles à 45°.

II. J'ai obtenu, dans l'action de l'*oxyurée sur l'éther benzoylacétique*, une petite quantité d'un produit qui, cristallisé d'un mélange de benzine et d'éther de pétrole, forme de fines aiguilles soyeuses, blanches, fondant à 98°-99°. Peu soluble à froid dans l'alcool dilué, le benzène, l'éther, ce corps se dissout mieux dans l'éther acétique. Sa composition correspond à la formule $C^{12}H^{14}O^4N^2$, c'est-à-dire à celle d'un produit de condensation de l'éther benzoylacétique avec l'oxyurée, avec élimination de H^2O :

$$C^{11}H^{12}O^3 + CO(NH^2)(NHOH) = C^{12}H^{14}O^4N^2 + H^2O.$$

III. L'action de l'oxyurée sur l'*éther oxalacétique* fournit un composé qui, après des cristallisations répétées dans le benzène, forme de beaux prismes incolores, fondant à 77°, en se décomposant; leur analyse correspond à la formule $C^9H^{14}O^6N^2$, c'est-à-dire à la condensation de l'éther oxalacétique avec l'oxyurée, de l'eau étant éliminée :

$$C^8H^{12}O^5 + CO(NH^2)(NHOH) = C^9H^{14}O^6N^2 + H^2O.$$

Cependant la cryoscopie, indiquant un poids moléculaire double, inciterait à adopter une formule double, $C^{18}H^{28}O^{12}N^4$. Dans cette dernière hypothèse, il serait prématuré de donner une explication des faits.

Dans la même réaction, on isole une petite quantité d'un autre produit, vraisemblablement un hydrate du précédent : son analyse répond sensiblement à la formule $C^{18}H^{30}O^{13}N^{4}$. Maintenu longtemps dans le vide sec, il perd $H^{2}O$, en donnant le corps décrit ci-dessus. Les propriétés et les solubilités de ces composés sont analogues à celles des précédents.

MM. Beckmann et Scheiber (¹) et MM. Scheiber et Wolf (²) ont étudié récemment l'action de la phénylhydroxylamine et de la tolylhydroxylamine sur l'acétylacétate d'éthyle. Dans le premier cas, ces savants ont obtenu deux isomères, $C^{22}H^{24}O^{5}N^{2}$, transformables en un troisième, et se produisant par condensation de 2^{mol} d'éther avec 2^{mol} de phénylhydroxylamine, 2^{mol} d'eau et 1^{mol} d'alcool étant éliminées. Dans le second cas, ils n'ont observé que le composé $C^{13}H^{15}O^{2}N$, formé par l'union de 1^{mol} d'éther acétylacétique avec 1^{mol} de tolylhydroxylamine, avec départ de $2H^{2}O$. La comparaison des résultats de ces auteurs, avec ceux que j'ai indiqués plus haut, montre qu'il n'est pas possible dès maintenant de formuler, par une équation générale, l'action des hydroxylamines substituées sur les éthers β-cétoniques : le sens de la réaction paraît dépendre, dans chaque cas, d'une part, de la nature particulière de l'éther β-cétonique ; le groupe substitué à l'hydrogène dans l'hydroxylamine semble jouer, d'autre part, un rôle prépondérant. De nouvelles études sont donc indispensables pour nous renseigner sur le mécanisme de ces réactions.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Synthèses diverses à partir de la butyrone.* Note de MM. **Amouroux** et **Murat**, présentée par M. Ch. Moureu.

La dipropylcétone ou butyrone, difficilement obtenue autrefois, est préparée aujourd'hui très aisément en catalysant l'acide butyrique sur la thorine. Nous avons songé à appliquer à cette cétone la méthode des organomagnésiens de Grignard pour la synthèse de nouveaux alcools et de leurs dérivés et nous avons préparé une quantité importante de butyrone, qui possédait les constantes :

$$\text{Éb.} = 144^{\circ}\text{-}145^{\circ} \text{ sous } 760^{mm}, \qquad D_0 = 0{,}8195, \qquad n_d = 1{,}414.$$

L'action de cette cétone sur le bromure d'isoamylmagnésium, selon le

(¹) *Annalen*, t. CCCLV, p. 235.
(²) *Ibid.*, t. CCCLVII, p. 31.

mode habituel, conduit à l'alcool tertiaire ou *isoamyldipropylcarbinol*, avec un rendement de 70 pour 100 environ. Ce corps est un liquide incolore, visqueux, d'odeur agréable, bouillant à 114°-116° sous 17mm :

$$D_0 = 0{,}8548, \qquad D_{19} = 0{,}8388, \qquad n_d = 1{,}443,$$

d'où

$$R_d = 58{,}7 \text{ (calculé } 58{,}8\text{)}.$$

Cet alcool est aisément déshydraté par passage sur une traînée d'alumine chauffée vers 300°, et fournit ainsi un *carbure éthylénique* $C^{12}H^{24}$, qui bout à 190°-191° sous 760mm. Ce carbure peut être hydrogéné avec la plus grande facilité sur le nickel divisé, et donne le carbure saturé ou *isoamyldipropylméthane*, à odeur de pétrole, qui bout à 189° sous 760mm :

$$D_{14} = 0{,}7538.$$

La butyrone réagit de même, quoique plus lentement, sur le chlorure d'isobutylmagnésium, pour donner l'alcool *isobutyldipropylcarbinol*, avec un rendement de 20 pour 100 seulement, à cause d'une réaction secondaire signalée antérieurement [1].

Cet alcool est, comme le précédent, un liquide visqueux; il possède une odeur faible et bout à 112°-114° sous 20mm :

$$D_0 = 0{,}8577, \qquad D'_{14} = 0{,}8445, \qquad n_d = 1{,}439,$$

d'où

$$R_d = 53{,}6 \text{ (calculé } 54{,}2\text{)}.$$

Par déshydratation sur l'alumine à 300°, il conduit à un carbure $C^{11}H^{22}$ bouillant à 180°-183° sous 760mm.

L'action de la butyrone sur le bromure de phénylmagnésium conduit sans perturbation au *phényldipropylcarbinol*, liquide incolore sirupeux, d'odeur fade, bouillant à 134° sous 26mm :

$$D_0 = 0{,}9589, \qquad D_{15} = 0{,}9470, \qquad n_d = 1{,}516,$$

d'où

$$R_d = 58{,}8 \text{ (calculé } 59{,}4\text{)}.$$

Chauffé avec de l'anhydride acétique dans un appareil à reflux, il se change en un *éther acétique* qui bout à 160° sous 19mm en se détruisant un peu. L'alcool déshydraté par l'alumine fournit un carbure, le *phénylpropylbutylène*, qui bout à 228° sous 760mm sans décomposition. Ce carbure, mis à

---

[1] Sabatier et Mailhe, *Comptes rendus*, t. 141, 1905, p. 298.

froid au contact du chlorure de nitrosyle, donne un *nitrosochlorure* en cristaux blancs fondant à 112° en se détruisant.

L'action de la butyrone sur le chlorure de benzylmagnésium conduit de même à un alcool, le *benzyldipropylcarbinol*, avec un rendement moindre à cause de la formation d'une certaine dose de dibenzyle fondant à 51°. Cet alcool est un liquide huileux un peu jaune, d'odeur aromatique agréable. Ses constantes sont :

$$\text{Éb.} = 161°\text{-}163° \text{ sous } 30^{mm}, \quad D_0 = 0{,}9506, \quad D = 0{,}9386, \quad n_d = 1{,}513,$$

d'où

$$R_d = 65{,}2 \text{ (calculé } 64{,}8).$$

Déshydraté par l'alumine, il fournit un *carbure* $C^{14}H^{20}$ qui bout à 246°-248° sous 760^{mm} :

$$D_{19} = 0{,}902.$$

Ce carbure, hydrogéné sur le nickel réduit, donne, avec un rendement intégral, le *benzyl-4-heptane* bouillant à 241°-243° sous 756^{mm} :

$$D_{14} = 0{,}854.$$

Le carbure éthylénique, mis au contact de chlorure de nitrolyse, fournit un *nitrosochlorure* en beaux cristaux blancs fondant à 115°.

Enfin la butyrone, condensée avec le chlorure de cyclohexylmagnésium, conduit au *cyclohexyldipropylcarbinol*, alcool incolore visqueux, à odeur faible de fruits, qui bout à 128°-130° sous 11^{mm}. Ses constantes sont :

$$D_0 = 0{,}9157, \quad D_{19} = 0{,}9025, \quad n_d = 1{,}469,$$

d'où

$$R_d = 60{,}9 \text{ (calculé } 61{,}3).$$

Cet alcool est assez stable; déshydraté par la même méthode que les précédents, il fournit un *carbure* incomplet $C^{13}H^{25}$, bouillant à 226°-228° sous 755^{mm},

$$D_{21} = 0{,}8441,$$

qui se combine au chlorure de nitrosyle pour donner un *nitrosochlorure* cristallisé fondant à 110° en se détruisant. Ce carbure, hydrogéné sur le nickel divisé maintenu à 250°, se change en carbure saturé, le *cyclohexyl-4-heptane*, liquide incolore, d'odeur très faible, qui bout à 228° sous 760^{mm}.

MINÉRALOGIE. — *Sur la polarisation circulaire des cristaux liquides.* Note de M. **Paul Gaubert**, présentée par M. A. Lacroix.

M. O. Lehmann (1) a observé que la lumière épipolique réfléchie par les cristaux liquides était polarisée circulairement et M. F. Giesel (2) a montré que les rayons transmis et réfléchis étaient polarisés en sens inverse (3). Le but de cette Note est de faire connaître un phénomène dû à cette polarisation circulaire.

Une pression produite avec la pointe d'une aiguille sur le couvre-objet d'une préparation microscopique d'un liquide biréfringent, dont les molécules sont orientées de manière que l'axe optique soit perpendiculaire à la lame de verre, provoque la formation d'un sphérolite à croix noire, dont le centre se trouve au point touché par l'aiguille. Les fibres ont un allongement positif ou négatif suivant que les cristaux liquides sont optiquement positifs ou négatifs. En effet, par la pression, les molécules (du moins celles qui ne sont pas en contact immédiat avec le verre) s'orientent parallèlement aux lames. Le phénomène est facile à constater avec des liquides visqueux.

Deux cas peuvent se présenter :

1° La substance examinée ne donne pas de teintes épipoliques. Alors le sphérolite ne se distingue en rien, au point de vue optique, d'un sphérolite ordinaire. Si la substance est colorée (mélange de *p*-anisalaminocinnamate d'éthyle et d'anisal *p*-amidoazotoluol, etc.), le polychroïsme est normal, c'est-à-dire que le maximum d'absorption de la lumière se fait suivant la direction du plus grand indice.

---

(1) O. Lehmann, *Phys. Zeitsch.*, t. 11, 1910, p. 575.

(2) F. Giesel, *Phys. Zeitsch.*, t. 11, 1910, p. 192.

(3) Tous les cristaux liquides qui se comportent comme un polariseur circulaire sont optiquement négatifs et présentent des teintes épipoliques. Or, j'ai constaté que la phase positive du caprinate de cholestérine, bien que n'émettant pas de couleurs, laisse passer des rayons polarisés circulairement et en sens inverse de ceux qui sont transmis par la phase négative. Cette polarisation est suffisante pour qu'une préparation puisse servir comme analyseur circulaire et reproduire les expériences de M. F. Giesel en lumière convergente. Ce ne sont pas les plages perpendiculaires à l'axe optique qui agissent, ce sont celles qui présentent une polarisation d'agrégat, aussi le mécanisme de la production de ce polariseur circulaire paraît être différent de celui des cristaux doués de pouvoir rotatoire; je n'ai pu constater celui-ci dans le caprinate positif. L'addition d'une matière étrangère se mélangeant à la phase positive ne modifie pas le phénomène.

2° Les cristaux liquides montrent des couleurs épipoliques. Une préparation de propionate de cholestérine (ou mieux encore un mélange à parties à peu près égales de ce corps ou d'acétate avec du caprinate de cholestérine, ayant l'avantage de rester liquide plusieurs jours à la température ordinaire) donne des sphérolites qui, observés avec un nicol, montrent un caractère tout à fait particulier. Ils sont divisés par deux diamètres rectangulaires dont l'un coïncide avec la section principale du nicol. Si l'analyseur est orienté de manière que sa section soit dirigée NS, les deux quadrants NO-SE sont rouges ou verts, alors que les deux autres sont incolores quand la lumière réfléchie est verte ou rouge. La teinte a son maximum d'intensité à 45° de la section principale du nicol et diminue graduellement vers les côtés rectangulaires du quadrant.

Avec les deux nicols croisés à angle droit, à la teinte blanche du premier ordre que possèdent les fibres, s'ajoute la couleur rouge ou verte des deux quadrants colorés avec un seul nicol, de telle sorte que les quatre quadrants ont encore des couleurs légèrement différentes.

Ce polychroïsme qui rappelle celui des liquides anisotropes (*p*-azoxyphénétol, *p*-azoxyanisol, etc.) de Lehmann peut être expliqué de la manière suivante :

Le sphérolite artificiel est bien composé de fibres parallèles à la lame de verre, mais les particules cristallines, en contact avec le verre, sont orientées perpendiculairement à ce dernier et transmettent par conséquent, d'après M. Wallerant (¹), de la lumière épipolique dont les rayons sont polarisés circulairement. Or, les fibres ayant une épaisseur et une orientation convenables, jouent le rôle d'un mica quart d'onde et par conséquent forment, avec le nicol, un polariseur circulaire, modifiant la teinte de la couche liquide biréfringente immédiatement en contact avec le verre et placée en dehors des fibres et du nicol. On voit donc que, pour obtenir ce pseudo-polychroïsme particulier, il faut que plusieurs conditions soient réalisées et que les fibres du sphérolite, pour chaque substance employée, aient une épaisseur déterminée en relation avec leur biréfringence.

Lorsque la substance est colorée, comme par exemple dans les mélanges de certains composés de cholestérine avec l'anisal *p*-amidotoluol (²), qui

(¹) Fred Wallerant, *Comptes rendus*, t. 143, 1906, p. 605.

(²) L'anisal *p*-amidotoluol abaisse le point de solidification des propionate, acétate et caprate de cholestérine, aussi l'addition de cette substance ($\frac{1}{10}$ à $\frac{2}{10}$) à un mélange de ces éthers-sels produit de bons polariseurs circulaires se conservant plusieurs jours à la température ordinaire.

augmente considérablement le pouvoir rotatoire et la biréfringence, on observe à la fois, avec un seul nicol, le polychroïsme normal des fibres et le polychroïsme spécial considéré ici. En outre il arrive parfois, par suite de l'individualité des fibres, que le pseudo-polychroïsme, que j'ai étudié autrefois [1] dans les sphérolites solides, apparaisse. Les phénomènes observés peuvent par conséquent être très compliqués, d'autant plus qu'ils varient à chaque instant, le sphérolite se modifiant et disparaissant plus ou moins rapidement, suivant l'épaisseur de la préparation et la viscosité du liquide.

BOTANIQUE. — *Sur la transformation d'un Chrysanthème à la suite du bouturage répété.* Note de M. **Lucien Daniel**, présentée par M. Gaston Bonnier.

Depuis longtemps déjà le célèbre physiologiste anglais Knight a montré que les arbres fruitiers varient et parfois dégénèrent sous l'influence du greffage répété, et l'on sait que la multiplication végétative en général est souvent suivie de résultats analogues (dégénérescence des Pommes de terre par exemple).

J'ai pu observer, chez M. Édouard Aubrée, de Rennes, un nouvel exemple de cette sorte de variation, sur la variété de Chrysanthème *Mistress Alpheus Hardy*, cultivé à la grande fleur.

Ce Chrysanthème est le premier de la série des duveteux; il fut introduit aux États-Unis par M. Miyabé, botaniste japonais résidant à Cambridge (Massachusetts), qui l'avait obtenu de graines importées du Japon. A l'état normal, ses demi-fleurons sont *semi-tuyautés*, d'un *blanc de neige* et recouverts de longs *poils fins;* ils s'*incurvent* vers le centre. C'est une variété particulièrement sensible à l'action du froid et de l'humidité, et si celle-ci s'exagère un peu, immédiatement ses feuilles prennent une teinte jaunâtre et maladive. En outre, elle exige des soins de culture particuliers et assez compliqués : c'est une des raisons pour lesquelles elle a été abandonnée par un grand nombre de Chrysanthémistes qui ont aujourd'hui à leur disposition des variétés aussi belles, mais de conduite plus facile.

M. E. Aubrée traite ses plantes lui-même, avec un soin extrême et une précision de véritable physiologiste. Depuis 18 ans, il cultive cette variété en se servant exclusivement de boutures prises d'abord sur le pied originel acheté par lui, puis sur les pieds issus des boutures successives. Les bou-

(1) *Comptes rendus*, t. 149, 1909, p. 456.

tures étaient faites chaque année en janvier; les pincements cessaient à la fin de juin, de telle sorte qu'à partir de cette époque le Chrysanthème poussait à sa guise. Les engrais, les arrosages, la mise à l'abri ont été chaque année les mêmes que pour les autres variétés de Chrysanthèmes. Par ces procédés, les floraisons du Chrysanthème *Mistress Alpheus Hardy* furent toujours réussies pendant 14 ans; les corolles étaient parfaitement duveteuses, incurvées et semi-tuyautées comme dans le type primitif.

Mais vers cette époque, c'est-à-dire en 1908, les effets de la multiplication végétative répétée d'un même type dans les mêmes conditions commencèrent à se faire sentir. Les poils duveteux des corolles furent plus rares sur certains capitules. Cet état s'accentua en 1909, puis en 1910. Finalement, en 1911, la dégénérescence fut complète. Toutes les fleurs, dans tous les capitules, étaient entièrement dépourvues de duvet; elles étaient restées ligulées, mais elles étaient devenues *plates* au lieu d'être semi-tuyautées, *récurvées*, c'est-à-dire retournées vers l'extérieur, au lieu d'être *incurvées*, c'est-à-dire retournées vers l'intérieur du capitule; leur couleur, au lieu d'être partout *blanc pur*, était devenue au centre d'un *jaune* plus ou moins *verdâtre* et plus ou moins étendu.

Ces résultats permettent de conclure :

1° Que le bouturage répété du Chrysanthème *Mistress Alpheus Hardy*, dans des conditions constantes, abstraction faite des variations climatologiques ordinaires, a abouti à la formation d'une variété nouvelle inférieure à la variété primitive, autrement dit à une *dégénérescence*, conformément à la théorie de Knight;

2° Que cette variation a été *progressive* et non *brusque*, ce qui est un exemple de plus à l'appui de l'existence de *variations lentes*, capables de donner naissance à des types nouveaux, conformément aux théories de Lamarck et de Darwin.

PHYSIOLOGIE. — *De la variation du temps perdu de la sensation en fonction de l'intensité de l'excitation.* Note [1] de M. **Henri Piéron**, présentée par M. d'Arsonval.

Dans son important travail sur la Pholade, où il a mesuré le temps de latence de la réaction du siphon pour un éclairement brusque, R. Dubois

[1] Présentée dans la séance du 9 avril 1912.

supposa que la vitesse de la sensation devait croître, parallèlement à son intensité, comme le logarithme de l'excitation.

Dans ses recherches sur les sensations visuelles, A. Charpentier a obtenu des variations de la durée (y) de la période croissante de la sensation, diminuant en fonction de l'intensité (x) de l'excitation, variations qui s'ordonnent suivant une courbe d'allure hyperbolique, de type $y = \frac{a}{\sqrt[4]{x}}$. La période croissante de la sensation, au seuil, se confond avec la période latente; mais on peut se demander si ce temps perdu se comporte toujours comme la période croissante, son isolement étant impossible par les méthodes employées (égalisation d'éclats brefs avec un éclat permanent) qui ne sont pas d'ailleurs applicables à toutes les sensations.

On peut alors faire appel, comme R. Dubois, à la méthode des temps de réaction.

Chez l'homme, en dehors d'un travail récent de Capriati (*Annales d'Électrobiologie*, 1904), avec des excitations faradiques fournies par un chariot de Du Bois-Reymond non gradué, ce qui rend ses résultats inutilisables, je n'ai trouvé qu'une série de chiffres de G.-O. Berger (*Philosophische Studien*, 1886) sur l'excitant lumineux, et une de Kiesow (*Lincei*, 1904) sur l'excitant tactile, où l'influence de l'excitation fût étudiée en fonction du seuil. Dans les deux cas, la diminution des temps de réaction affecte bien une allure hyperbolique, et j'ai interpolé les résultats comme on verra ci-après. D'autre part, j'ai pris, chez un sujet ayant une attention assez stable, aux mêmes heures et dans les mêmes conditions, des séries de temps de réaction avec deux excitants gustatifs (solution d'acide citrique et de chlorure de sodium) et avec des excitants thermiques (eau physiologique chaude ou froide). Et, dans tous les cas, j'ai obtenu des courbes de type hyperbolique.

Pour la mesure des temps de réaction gustative, une goutte d'une solution, fraction déterminée de la solution normale, est déposée à 38° sur la pointe de la langue et ferme au passage, en tombant, un circuit électrique, qui agit sur un relais très sensible fermant un circuit secondaire comprenant un signal de Déprez. Les intensités sont mesurées en multiples de la valeur-seuil. Pour le chaud et le froid, la méthode est presque identique.

Avec les sensations cutanées, la courbe des temps est une branche d'hyperbole [1]

$$y = \frac{a}{x} + k.$$

---

(1) y est le temps de réaction exprimé en centièmes de seconde, y_1 la valeur observée et y_2 la valeur calculée; x est l'intensité évaluée en multiples du seuil;

Tact (Kiesow) ($a = 12$; $k = 20$)			
x.	y_1.	y_2.	Écarts.
1	32,09	32	+0,09
2	23,59	26	—2,41
3,5	23,47	23,43	+0,04
6	22,31	22	+0,31
10,5	21,12	21,14	—0,02
15	21,32	20,80	+1,52
∞	20,22	20	+0,22

Écart moyen pour 100 : 2,8

Froid ($a = 14$; $k = 23,6$)			
x.	y_1.	y_2.	Écarts.
1	37,6	37,6	0
2	31,3	30,6	+0,7
4	27,4	27,1	+0,3
7	25,8	25,6	+0,2
12	24,3	24,8	—0,5
18	24,2	24,3	—0,1
25	23,1	24,1	—1,0

Écart moyen pour 100 : 1,4

Chaud ($a = 77,3$; $k = 25$)			
x.	y_1.	y_2.	Écarts.
1	102,3	102,3	0
5	45,1	40,4	+4,7
15	28	30,1	—2,1
22	27,3	28,5	+1,2
32	26,1	27,4	+1,3
38	27,2	27,0	—0,2

Écart moyen pour 100 : 3,6

En revanche, pour les sensations lumineuses et gustatives (acide et salé), les courbes de type hyperbolique sont plus complexes :

Lumière (G.-O. Berger) :

$$y = \frac{a}{\sqrt[3]{x}} + k$$

($a = 14$; $k = 19,8$).

x.	y_1.	y_2.	Écarts.
1	33,8	33,8	0
7	26,5	27,1	—0,6
23	23,8	24,7	—0,9
123	23	22,6	+0,4
315	22,2	21,8	+0,4
1000	22,5	21,2	+1,3
$X_1 > 1000$	20,7	»	»
$X_2 > X_1 (\infty)$	19,8	19,8	0

Écart moyen pour 100 : 2,3

Acide :

$$y = \frac{a}{\sqrt[4]{x} + \frac{x^2}{400}} + k$$

($a = 198$; $k = 25$).

x.	y_1.	y_2.	Écarts.
1	223	223	0
3	179,7	172	+ 7,7
5	153	153	0
10	111	122	—11,0
25	76,9	77	— 0,1
50	40,6	47	— 6,4
75	38,6	36,6	+ 2,0
100	32,7	32	+ 0,7
121	27,3	29,9	— 2,6
500	25,3	25,3	0

Écart moyen pour 100 : 3,3

Salé :

$$y = \frac{a}{x^2} + k$$

($a = 150$; $k = 23$).

x.	y_1.	y_2.	Écarts.
1	173	173	0
1,5	71	89,6	—18,6
1,75	63	72	— 9
2,25	52,1	52,5	— 0,4
3	46,9	39,6	+ 7,3
3,75	33	33,7	— 0,7
4	32,2	32,4	— 0,2
7,5	26,4	25,7	+ 1,4
15	25,1	23,6	+ 1,5
20	23,3	23,4	— 0,1

Écart moyen pour 100 : 6,6

La chute est accélérée pour la sensation du salé, ralentie pour l'acide, ainsi que pour la sensation lumineuse, avec, dans ce cas, une formule d'interpolation très voisine de celle de Charpentier pour la durée de la période croissante.

Les temps limites (constante k) varient peu (oscillant entre 19,8 et 25). Mes valeurs limites pour le froid (23,6) et pour le chaud (25) sont presque identiques aux moyennes de Kiesow et Ponzo pour les temps de réaction au froid (23,1 et 22,6) et au chaud (25,4 et 25,9). La différence (constante a), entre la valeur maxima au seuil et la valeur minima limite, est à peu près la même pour le tact, le froid et la lumière (12, 14 et 14), les temps les plus longs étant alors de 32,09, de 37,6 et de 33,8.

a et k sont des constantes. Au point de vue expérimental, $x = \infty$ est une excitation très intense non mesurée.

Wundt avait indiqué comme durées maxima, au seuil, 32,7 pour le tact, 33,1 pour la lumière et 33,7 pour le son. Mais, pour le chaud, et surtout pour les sensations gustatives, le salé et l'acide, l'allongement au seuil est considérable (¹).

L'interprétation de ces résultats est très délicate. On peut se demander ce qui se passe, d'une part au niveau des appareils périphériques pour la transformation d'un stimulus externe en un influx sensoriel, et, d'autre part, au niveau des centres cérébraux, pour la transformation de l'influx sensoriel en influx moteur. Les différences dans le comportement des temps pour les sensations indiquent qu'une place importante doit être prise par la transformation périphérique. A cet égard, je compte, par des expériences appropriées, déterminer ce qui revient à ce facteur initial. Quant à l'idée que la conduction nerveuse serait accélérée par l'augmentation d'intensité du stimulus, bien qu'affirmée par quelques auteurs, elle ne repose sur aucun fait et paraît improbable, sauf peut-être pour la traversée des neurones d'étape ; en tout cas, elle ne pourrait expliquer les variations considérables qu'on rencontre.

PHYSIOLOGIE COMPARÉE. — *Sur les propriétés physiques de la lumière physiologique.* Note (²) de M. **Raphael Dubois**, présentée par M. Henneguy.

Dans une Note récente ayant pour titre : *Une propriété singulière d'une bactérie phosphorescente* (³) l'auteur, M. Ozorio, annonce qu'il a découvert que la lumière des photobactéries décompose les sels d'argent et impressionne le papier photographique ; pour ce motif, il croit à l'existence d'un « fait nouveau concernant les bactéries ».

Or, en 1886 (⁴) j'ai, le premier je crois, signalé cette propriété des photo-

---

(¹) Cela explique que des différences de sensibilité individuelle puissent entraîner, avec un même excitant, des écarts énormes dans les temps moyens de réaction, comme c'est le cas pour les expériences classiques de Vintschgau et Honigschmied, où, pour NaCl, l'un avait un temps moyen de 59,7 et l'autre de 15,98 ; pour la quinine, l'un de 99,3 et l'autre de 23,51 et, pour le sucre, l'un de 75,2 et l'autre de 16,39.

(²) Présentée dans la séance du 9 avril 1912.

(³) Note de M. Ozorio, présentée par M. H. Coutière, dans la séance du 16 mars 1912, à la Société de Biologie, t. LXXII, p. 432-433.

(⁴) Raphael Dubois, *De l'action de la lumière émise par les êtres vivants sur la rétine et sur les plaques photographiques au gélatinobromure* (*Bull. de la Soc. de Biol.*, 26 mars 1886, n° 11, p. 130).

bactéries. La découverte du « fait nouveau » de M. Ozorio remonte, en réalité, à un quart de siècle environ. De nombreux expérimentateurs ont, depuis, confirmé la réalité de ce qui était alors vraiment un fait nouveau : Forster, Hazen, Fischer, en 1887, etc., et plus récemment Molish, ont étudié le pouvoir actinique des photobactériacées. Mes photographies bien connues du buste de Claude Bernard par les microbes et de ma *lampe vivante* (1) auraient dû, tout au moins, être rappelées à l'occasion de la communication de M. Ozorio.

J'avais même insisté, en 1896, sur le pouvoir actinique pénétrant cumulatif des radiations des photobactériacées après une très longue exposition de plaques protégées par des corps opaques *pour notre œil*. A ce propos, je rappellerai que j'ai réfuté les critiques formulées par M. Molish au sujet de l'explication des résultats que j'avais obtenus (2).

Enfin, en ce qui concerne les autres propriétés physiques de la lumière physiologique, on ne cite plus guère, en Amérique surtout, et même en France, que le Mémoire des savants physiciens américains Langley et Very, dont les recherches ne sont que la confirmation de l'exactitude des résultats que nous avions publiés, antérieurement à leur beau travail (3), dans le *Bulletin de la Société zoologique de France*, en 1886, et au sujet duquel ils s'expriment ainsi (*loc. cit.*, p. 103) :

Perhaps, the most important of previous memoirs on phosphorescent insects is by this writer. It contains an account of photometric measures in wave-length scale, and also of heat measures with the thermopile. The latter represent the only attempt even, in this direction, I know of and seem to be judiciously made but to be insufficient (on account of the limitation of such apparatus) to establish the author's conclusion that the light is accompanied by no sensible heat. This conclusion, we repeat, though very probably correct, does not seem to rest on the evidence of an apparatus of at all the necessary sensitiveness. This memoir, however, appears to be in general an excellent one and well worthy the student's attention.

Quoi qu'en ait dit MM. Very et Langley, la pile thermoélectrique, dont

(1) Raphael Dubois, *Sur le pouvoir éclairant et le pouvoir photochimique comparés des bouillons de liquides avec photobactériacées, photographies obtenues avec les photobactériacées, lampe vivante* (*Bull. de la Soc. de Biol.*, 1901, p. 263). — *Sur une lampe vivante de sûreté* (*Comptes rendus*, 15 juin 1903 et *Journal de la Nature*, n° 1454, 6 avril 1901, p. 294, avec 3 figures).

(2) Voir *Rev. scient.*, *Paris*, 5e série, t. VI, 25 novembre 1905, n° 22, p. 699-700.

(3) S. P. Langley and W. Very, *On the cheapest Form of light, from studies at the Allegheny observatory* (*The Amer. Journ. of Science*, third ser., t. XL, 1890).

nous nous sommes servi, était assez sensible pour que nous ayons pu écrire (*loc. cit.* p. 271) : « les quantités de chaleur rayonnées par les organes lumineux, au moment où ils atteignent leur éclat maximum, sont infinitésimales », et les expériences que nous avons décrites (*loc. cit.*, p. 128-132) prouvent que nous étions bien fondés à en tirer cette conclusion.

Le bolomètre employé par MM. Very et Langley n'a pu que confirmer nos observations.

CONCLUSIONS. — 1° *L'existence de radiations chimiques dans la lumière des photobactériacées a été démontrée en* 1886 *par M. Raphaël Dubois;*

2° *Le pouvoir actinique pénétrant cumulatif des photobactériacées, dans les conditions indiquées par M. R. Dubois, n'est pas attribuable à des influences étrangères à la biophotogenèse, comme l'avait pensé M. Molish ;*

3° Les belles recherches de Langley et Very n'ont fait que confirmer, *sous tous les rapports*, l'exactitude des résultats publiés par M. Raphaël Dubois quatre ans avant la publication du Mémoire des savants américains sur les propriétés physiques de la lumière physiologique.

ANTHROPOLOGIE. — *Caractères ataviques de certaines vertèbres lombaires des Hommes de la Pierre polie.* Note de MM. **Edmond Hue** et **Marcel Baudouin**.

Nous avons pu étudier un certain nombre de vertèbres lombaires provenant de la sépulture de Belleville, à Vendrest (Seine-et-Marne), qui est de l'époque de la Pierre polie [1].

En comparant, en particulier, les *cinquième* et *troisième* vertèbres de cette catégorie avec un grand nombre (près d'une centaine) de vertèbres de même nature, appartenant à des adultes de l'époque moderne, nous avons fait plusieurs constatations anatomiques fort intéressantes, surtout si on les rapproche de ce que l'on connaît déjà chez les Singes anthropoïdes.

En ce qui concerne l'*apophyse épineuse* de la *cinquième* lombaire, il résulte des examens pratiqués et des mensurations précises exécutées :

1° Que, chez les Hommes néolithiques de Vendrest, il existe une *incli-*

(1) MARCEL BAUDOUIN, *La sépulture néolithique de Belleville, à Vendrest* (S.-et-M.). *Fouille et Restauration. Étude scientifique.* (Paris, *Soc. préh. franç.*, 1911; in-8°, 266 p., 40 fig., 16 pl. hors texte.)

naison en bas supérieure à 25° par rapport à l'horizontale, dans la proportion de 38,88 pour 100, tandis que, chez les Hommes actuels, on a le chiffre de 4,94 pour 100 seulement (ce qui prouve, d'ailleurs, qu'en général cette apophyse n'est pas horizontale, comme le disent tous les classiques); la différence de ces nombres laisse donc au bénéfice des Néolithiques le chiffre de 33,94, soit environ 33 pour 100;

2° Que cette inclinaison rapproche les Néolithiques des Anthropomorphes, chez lesquels *l'inclinaison en bas est constante* et plus marquée encore (environ 35° à 50°), sauf chez le Gibbon [1], tandis qu'elle les éloigne des Hommes modernes où cette inclinaison (au-dessous de 25°) ne s'observe que dans 4,94, soit $\frac{1}{20}$ des cas, ou 5 pour 100, au lieu de 33 pour 100;

3° Qu'à ce point de vue les Néolithiques se placent, dans l'échelle des variations anatomiques, entre les principaux Anthropomorphes et les sujets de l'époque actuelle : ce qui était, au demeurant, à prévoir.

Pour ce qui a trait à la *troisième* lombaire, nous avons constaté chez les Néolithiques : 1° qu'elle présente souvent des apophyses transverses incurvées et en antéversion, également comme chez les Anthropomorphes et les Quadrupèdes (Carnassiers, etc.); 2° qu'elle possède parfois un tubercule apophysaire ou accessoire très développé, comme chez les Singes et les Quadrupèdes.

En résumé, on doit noter, pour les Lombaires étudiées des Néolithiques de Vendrest, trois caractères ataviques qui obligent à les classer entre celles des Anthropomorphes et des Hommes modernes.

ANTHROPOLOGIE. — *Physionomie des assassins. Conclusions de recherches sur cette catégorie de criminels.* Note de MM. **A. Marie** et **Léon Mac-Auliffe**, présentée par M. Edmond Perrier.

Avant de terminer l'exposé de nos recherches sur les assassins, nous avons cru devoir étudier leur physionomie. Nous avons pu étudier, grâce au Service d'identité judiciaire de Paris, les photographies métriques, face et profil, de 250 individus condamnés pour assassinat (dont 35 femmes).

La technique des photographes de la Préfecture de Police offre le maximum de

(1) Cet Anthropoïde, à ce point de vue, se rapproche des *Quadrupèdes*, dont les apophyses sont inclinées en avant ou *en haut*, et non des *Bipèdes*, tels que le Gorille, l'Orang, le Chimpanzé.

garanties scientifiques. Les photographies étudiées (sauf quatre récentes, qui étaient étudiées au $\frac{1}{5}$) ont été effectuées au $\frac{1}{7}$. Les employés du Service d'identité prennent toutes les précautions voulues pour qu'une inégalité faciale à droite ou à gauche du plan axial du corps soit bien mise en vedette, ce qui nous a permis de noter les asymétries.

Comme dans nos précédentes Communications, nous nous sommes efforcés de ranger les individus étudiés parmi l'un des quatre grands types morphologiques humains :

a. Les faces rectangulaires (présentant des proportions égales de la ligne d'implantation des cheveux à la racine du nez, de la racine de celui-ci à sa base, de la base du nez au sommet du menton) étaient attribuées au type *musculaire*.

b. Les faces *losangiques* (caractérisées par la hauteur ou la largeur du nez et des sinus, la saillie des os malaires et le profil *en pignon*) étaient attribuées au type *respiratoire*.

c. Les faces *en pyramide* (à grandes proportions mandibulaires, à nez de faible hauteur, à front bas et étroit) étaient classées dans le type *digestif*.

d. Les faces dites *en toupie*, (à front haut et large, à grand développement crânien par rapport à une face réduite et comme effilée par le bas), étaient rangées dans le type *cérébral*.

Ces impressions physionomiques étaient, du reste, toujours corroborées, avant de formuler le diagnostic, par une étude des mensurations générales.

Cette méthode de recherches nous a permis de vérifier une fois de plus l'exactitude des données antérieurement formulées.

Alors que dans la population française, en général, on trouve environ 45 pour 100 de musculaires, 28 pour 100 de respiratoires, 15 pour 100 de digestifs, 12 pour 100 de cérébraux, nous avons observé chez les assassins français : musculaires, 85 pour 100; cérébraux, 11 pour 100; digestifs, 3 pour 100; respiratoires, 1 pour 100.

La plupart des individus étudiés (en dehors du type musculaire) se rattachaient difficilement à un type pur; la plupart se rattachaient à l'une des combinaisons des quatre grands types, en particulier aux musculo-digestifs.

Sur 250 assassins :

Type musculaire	121
» musculo-digestif	49
» très indécis	26
» musculo-respiratoire	21
» cérébro-musculaire	16
» cérébro-digestif	6
» digestif	4
» respiratoire	3
» cérébro-respiratoire	2
» cérébral	2

Les asymétries se sont rencontrées dans la proportion suivante :

Sur 250 assassins :

Asymétries à prédominance droite.........	73
Asymétries à prédominance gauche........	48

De grandes mandibules, larges et hautes, ont été observées 70 fois.

Conclusions générales de nos recherches. — 1° L'assassin se recrute surtout dans le type musculaire; 2° un très grand nombre d'assassins ont subi un développement massif pendant la période de croissance, mais ce fait ne leur est pas particulier et s'observe aussi chez les honnêtes gens ; ce développement explique la fréquence de la grande envergure signalée par l'école de Lombroso; 3° un nombre assez élevé d'assassins sont un mélange du type musculaire et du type digestif. Il est assez naturel que, comme on l'a dit, *les gros appétits servis par des double-muscles* puissent déterminer à l'acte meurtrier. Ce curieux mélange explique la fréquence chez les assassins de ces grandes mandibules signalées maintes fois par les anthropologistes et attribuées par erreur à l'existence d'un type grossier, d'ailleurs tout théorique et plus ou moins rattaché aux anthropoïdes.

L'acte meurtrier a surtout pour cause le milieu social défectueux dans lequel poussent ou vivent un certain nombre d'individus. On tue par misère, par alcoolisme, par désir immédiat de jouissances, etc. *Il n'y a pas de criminels-nés, en dehors des malades mentaux héréditaires*, et la dégénérescence héréditaire elle-même n'est qu'une résultante des actions de milieux accumulées sur une série ancestrale.

ANTHROPOLOGIE. — *Contribution à l'étude et au traitement des enfants « arriérés ».* Note de M. **Raoul Dupuy**, présentée par M. Edmond Perrier.

Dans une précédente Note (15 janvier 1912), nous avons mentionné les résultats que nous obtenons au moyen de la *polyopothérapie endocrinienne* dans le traitement des diverses formes d'arriération infantile et surtout dans des cas pour lesquels l'opothérapie thyroïdienne seule avait été sans effet.

Quoique ayant constaté que chaque arriéré constitue un *type clinique spécial*, nous avons remarqué que tous nos sujets ont été manifestement

améliorés par l'emploi des *mêmes* extraits endocriniens, dont seuls la dose et le mode d'administration ont varié.

Cette dissemblance entre les différents états d'arriération n'est donc qu'apparente. La physio-pathologie de cette dystrophie a confirmé notre hypothèse.

En effet, si l'on étudie l'élimination urinaire, la tension artérielle, le milieu sanguin de nombreux sujets atteints de cette dysharmonie (retard ou arrêt) dans leur évolution corporelle, intellectuelle ou sensorielle, on en arrive à conclure que l'arriération infantile n'est autre bien souvent qu'un *trouble de la nutrition*, causé par un fonctionnement défectueux du grand sympathique.

L'*examen des urines des arriérés* révèle la présence quasi mathématique d'*albumine* (sérine, globuline, mucine) en faibles quantités depuis des traces indosables jusqu'à $0^{g},40$ à $0^{g},50$ par 24 heures, *d'indican* en proportion très notable, de *scatol, d'urobiline* et de *pigments biliaires*.

De plus, l'étude des graphiques de leurs éliminations montre que ce sont ou des *rétentionnistes* ou des *hyperexcrétants*. La rétention et l'hyperexcrétion urinaires peuvent être partielles ou totales; elles portent sur toutes les subtances normales de l'urine : eau, matières azotées, chaux, phosphates et *chlorures*. L'élimination des chlorures nous paraît des plus importante à connaître; sa rétention correspond à l'*apathie* et son hyperexcrétion à l'*instabilité*. Or ces deux états permettent jusqu'à un certain point de différencier les arriérés.

De ces rapides constatations il résulte que ces sujets sont des *intoxiqués* (dont le foie et le rein sont insuffisants), qui font soit du *ralentissement de la nutrition*, soit de la *déminéralisation*.

L'étude de leur circulation et, en particulier, de leur *pression artérielle* est des plus intéressante. Elle indique que ces sujets sont presque tous des *atoniques et des hypotendus*.

Leurs artères sont étroites et peu élastiques. Cette particularité vient de ce que leur cœur, bien souvent troublé dans son rythme (tachycardie et embryocardie), manque de tonicité.

L'ondée sanguine a une action mécanique. Elle doit calibrer, dilater les vaisseaux et favoriser la croissance par cette poussée continue qu'elle exerce aux extrémités. Chez les arriérés cette action mécanique donnée par le muscle cardiaque est fortement diminuée et, si l'on ajoute à cet état spécial la distension et la stase qui se produisent dans tout le système veineux, on

comprendra combien la circulation de ces sujets doit être défectueuse et combien la respiration et la nutrition de leurs tissus doivent être réduites.

Ainsi s'expliquent l'acroasphyxie, les engelures, la sensation de froid, la disparition de la sensibilité, l'abolition de certains réflexes (le réflexe plantaire, par exemple), les troubles trophiques de la peau, etc.

Pour évaluer la pression artérielle, nous utilisons de préférence l'oscillomètre de Pachon, qui, ayant l'avantage de donner les tensions maxima et minima, permet de reconnaître la *qualité* de l'artère. Cet appareil nous montre que chez ces enfants la tension maxima est de 11° à 5° !! et que la tension minima est normale : 8°, 7°, 6°. Il n'existe donc parfois aucune différence de tension dans une artère d'arriéré.

L'*examen du sang* dénote une *anémie*, accompagnée d'*hyperleucocytose*. Cette anémie se trouve plus prononcée chez les apathiques que chez les instables.

Les hématies sont diminuées dans des proportions notables (2 à 3 millions au lieu de 5 millions par millimètre cube). Il en est de même des hématoblastes. Ces globules rouges sont assez pauvres en hémoglobine, dont le taux peut baisser jusqu'à 60 à 50 pour 100.

Le nombre des leucocytes peut varier du simple au quintuple. Cette hyperleucocytose donne-t-elle l'explication de l'immunité que semblent avoir les enfants arriérés contre les maladies infectieuses de l'enfance?

L'augmentation porte aussi bien sur les polynucléaires neutrophiles que sur les petits mononucléaires (lymphocytes) ou que sur les grands mononucléaires.

Cette hyperleucocytose s'accompagne d'une *hypertrophie des organes lymphoïdes* (végétations adénoïdes) qui, en plus de la gêne mécanique qu'ils apportent à l'hématose, fabriquent de nouveaux globules blancs qui sont lancés dans le torrent circulatoire.

En résumé, les enfants arriérés ont de nombreux caractères physio-pathologiques qui sont *communs*. Ce sont des intoxiqués, des hypotendus et des anémiques qui font de la rétention des éléments normaux de l'urine (apathiques) ou de la déminéralisation de leur chaux, phosphates et chlorures (instables).

Aussi la polyopothérapie endocrinienne (thyroïde, hypophyse, surrénale, partie interstitielle testiculaire, corps jaune, moelle osseuse, foie, rate), qui a pour but de fortifier le milieu sanguin, de relever la pression artérielle et de régler le métabolisme des substances alimentaires, est-elle le traitement

de choix de cette dystrophie, l'arriération infantile, qui par sa fréquence deviendra un véritable danger pour l'avenir de la race, si elle n'est pas soignée rationnellement.

La loi du 15 avril 1909 « sur les enfants arriérés », outre la création de classes spéciales annexées aux écoles primaires et dites *classes de perfectionnement*, prévoyait également l'établissement d'*écoles autonomes* avec *système de l'internat*.

Ces écoles autonomes où l'on soigne et où l'on éduque simultanément les arriérés existent depuis longtemps à l'étranger (Belgique, Suisse, Autriche, Allemagne, Angleterre, États-Unis, etc.). En France, elles ne sont encore qu'à l'état de projet. Leur création cependant s'impose, car il est inadmissible que les arriérés, qui ne sont pas des fous, soient à l'heure actuelle les pensionnaires des asiles d'aliénés.

Il y a là une question d'humanité que les pouvoirs publics devraient comprendre.

MÉDECINE. — *Les épithéliomes de l'ectoderme embryonnaire*. Note de MM. **Maurice Letulle** et **L. Nattan-Larrier**, présentée par M. A. Laveran.

Une longue série de recherches anatomo-pathologiques sur les *dysembryomes* (tumeurs mixtes et embryomes, des auteurs), jointe à nos études sur les tumeurs du placenta (môle hydatiforme et carcinome placentaire), nous a permis de préciser le lien qui rattache les unes aux autres ces différentes altérations.

La môle est une *tumeur mixte* de l'embryon, un *dysembryome placentaire :* des axes de tissu connectif muqueux proliférés et, pour la plupart, en état de désintégration vacuolaire, colloïde ou pseudo-kystique, en constituent l'armature. A la surface de ces bourgeons conjonctivo-vasculaires, s'étale un double revêtement, formé par les éléments de l'ectoderme villositaire (cellules de Langhans et plasmode). Ces éléments, surtout les masses plasmodiales, sont végétants; individualisés, ils se disposent d'une façon désordonnée.

Les éléments ectodermiques de la môle possèdent la propriété de franchir brutalement la caduque utérine, tant à travers la couche de Nitabuch, que d'une façon directe, par continuité de tissus, en s'insinuant parmi les cel-

lules déciduales. Poursuivant leur trajet, ces cellules, par leurs contractions amiboïdes, parviennent dans l'intimité du muscle utérin, et jusqu'à l'intérieur de ses cavités vasculaires.

Les greffes intra-utérines de la môle se caractérisent surtout par la brutalité de leurs effractions, par les caractères morphologiques de leurs cellules individualisées, par leur vitalité plus luxuriante, enfin par leur persistance plus prolongée dans l'épaisseur des tissus utérins.

Ainsi comprise, la môle est un dysembryome *bénin*. L'expérience démontre cependant qu'à l'instar des *tumeurs mixtes* de l'adulte, elle peut devenir le point de départ d'une variété de *cancer* (déciduome malin des anciens auteurs, chorio-épithéliome, carcinome placentaire).

Quelle que soit sa localisation, le *carcinome placentaire* tire son origine de la métamorphose monstrueuse d'une partie du revêtement ectodermique des villosités môlaires ([1]). En subissant la transformation, inconnue dans sa source, qui les rend épithéliomateux, les éléments ectodermiques de la môle demeurent à l'état embryonnaire : ils forment un cancer d'un type très particulier, spécifique, *plasmodial*, en un mot. Ce *carcinome ectodermique embryonnaire* ne présente, en effet, avec les autres épithéliomes de l'adulte, qu'un seul caractère histo-pathogénique commun : sa gangue mésodermique (axes du tissu muqueux villositaire) assiste, indifférente, au processus néoplasique; seul, l'élément épithélial possède la *puissance cancérigène* (proliférations anarchiques, greffes métastatiques).

A tout âge de la vie extra-utérine, la cancérisation des *tumeurs mixtes* peut correspondre à deux ordres de métamorphoses distincts. Tantôt, en effet, les *souches épithéliales inutilisées*, enclavées dans le dysembryome, ont pu atteindre une différenciation élémentaire avancée; les cellules ont pris, par exemple, les caractères d'épithéliums de revêtement malpighien, ou encore, ceux d'éléments sécrétoires glandulaires. Lorsque la cancérisation atteint telle variété de ces épithéliums spécifiques, elle respecte, à l'ordinaire, la plupart, sinon l'ensemble de leurs caractères histo-physiologiques.

Tantôt, au contraire, la variété de tumeur mixte (dysembryome *complexe*, ou *tératoïde*) renferme, inclus parmi d'autres tissus, des *îlots ectodermiques* demeurés encore à la phase embryonnaire. Englobées à une période très précoce de la segmentation du nouvel être, ces *enclaves*

([1]) Toutes les observations publiées de carcinome placentaire succédant à une grossesse *non môlaire* sont sujettes à caution.

ont conservé les caractères ou les aptitudes des cellules ectodermiques de l'embryon. En sollicitant de tels éléments embryonnaires non différenciés, le *molimen cancérigène* pourra réaliser une variété de néoplasme qui reproduira, trait pour trait, un *carcinome ectodermique embryonnaire* identique à celui créé, dans les parois utérines, par la môle hydatiforme devenue cancéreuse. Nombre de tumeurs mixtes (testicule, ovaire, région sacro-coccygienne, etc.) deviennent ainsi le siège de cette complication. Leurs cellules épithéliomateuses ne diffèrent en rien des éléments, tant plasmodiaux que langhansiens, du carcinome môlaire.

L'*épithélioma ectodermique embryonnaire* constitue donc un mode de dégénérescence particulier aux dysembryomes nés aussi bien des annexes fœtales que de l'être humain entièrement développé. Cette variété de cancer possède en propre certains caractères précis, spécifiques. Ses cellules tumorales consistent en masses protoplasmiques, volumineuses à l'ordinaire, et avides des réactifs colorants. Polymorphe, l'élément renferme un ou plusieurs gros noyaux, souvent bourgeonnants, en général inaptes au processus de karyokinèse. Enfin cette *cellule épithéliomateuse ectodermique embryonnaire* se creuse, maintes fois, de larges vacuoles irrégulières, à l'intérieur desquelles les globules rouges du sang trouvent un accès facile, sans toutefois y prendre naissance; ses greffes, à l'intérieur des tissus, s'effectuent par éléments individualisés. Au niveau des vaisseaux sanguins, ces cellules cancéreuses soulèvent souvent et refoulent les endothéliums; elles les remplacent même, sans occasionner de thrombose, au moins tant que le néoplasme n'a pas subi les hémorragies interstitielles et la nécrose fibrinoïde communes à toute tumeur maligne.

En résumé, le *carcinome ectodermique embryonnaire* est toujours *secondaire* à une tumeur mixte (dysembryome) soit du placenta, soit de l'organisme en complet développement.

Né d'une portion de l'ectoderme non différencié, ce néoplasme représente le type le plus pur du « cancer épithélial ».

GÉOLOGIE. — *Sur la tectonique du Haut Atlas marocain et ses relations avec l'Atlas saharien*. Note de M. **Louis Gentil**, présentée par M. P. Termier.

J'ai, dans deux précédentes Notes, traité des mouvements orogéniques dans le Haut Atlas occidental sans essayer de remonter aux causes qui les ont produits durant la période néogène.

Depuis, mes recherches au nord de la chaîne, une étude critique des observations des explorateurs qui ont sillonné l'Anti-Atlas et la vallée du Draa, au Sud, m'ont conduit à admettre que l'Atlas est encadré par deux *horsts* anciens à couverture secondaire : la Meseta marocaine et le Plateau saharien.

Il me paraît indiscutable que la vallée du Draa est formée d'un soubassement paléozoïque et cristallin, débris de la chaîne hercynienne arasée, recouverts par les dépôts horizontaux du Crétacé transgressif. Autrement dit, le Sahara occidental partage, au voisinage de l'Atlas, les mêmes caractères que le Saharien algérien, tel que l'a envisagé M. Ed. Suess, d'après les beaux travaux de MM. Haug, Chudeau, Flamand, etc.

Je suis amené ainsi à considérer la région du Draa comme l'*avant-pays* de l'Atlas marocain ; de même que le Sahara central est l'*avant-pays* de l'Atlas saharien.

Ainsi enserré entre deux horsts, dont le plus méridional s'étend à l'aire continentale très vaste du Centre africain, il semble très plausible d'admettre que les plis tertiaires de l'Atlas occidental résultent d'*un rapprochement*, *en profondeur*, *de la Meseta marocaine* qui se serait déplacée vers le Sud. Et si l'on songe que le Haut Atlas occidental est réduit, entre le Haouz de Marrakech qui forme le bord méridional du horst septentrional, et la vallée du Sous qui offre la même structure, son minimum de largeur, on conçoit qu'un simple mouvement de bascule de la Meseta marocaine ait suffi pour produire les plis tertiaires qui se réduisent à des anticlinaux et des synclinaux très simples, sans aucun chevauchement.

De fait, ce mouvement de bascule est indiscutable puisque la surface de la pénéplaine qui forme le socle de la Meseta marocaine est portée à des altitudes d'environ 1200^m chez les Zaër et les Zaïan au Nord, tandis qu'elle se trouve au-dessous de la plaine du Haouz à plus de 500^m au-dessous du niveau de la mer.

Je rappellerai, à ce sujet, que j'ai considéré le Haut Atlas marocain comme édifié sur l'emplacement d'une zone effondrée par le morcellement de la chaîne hercynienne, et que l'allure des plis tertiaires a été, dans la suite, déterminée par le bord fracturé des plis carbonifères [1]. C'est donc entre les bords de cette zone affaissée, demeurée une zone faible de l'écorce terrestre, qu'ont été comprimés les sédiments secondaires qui prennent part à la structure de l'Atlas.

---

[1] *Comptes rendus* des 17 et 30 mai 1910.

Ainsi s'expliquerait le déversement constant des plis tertiaires de la zone littorale comprise entre Safi et Agadir lesquels, comme je l'ai montré, *ont une tendance à venir s'écraser sur la Meseta marocaine*. Ces plis semblent témoigner, en réalité, d'un *retour en arrière* des plis résultant d'une surcompression de la chaîne, analogue à celle décrite par M. Argand dans les Alpes Pennines, rappelant aussi les phénomènes tectoniques signalés par M. Léon Bertrand dans les Pyrénées occidentales.

Enfin, il me semble naturel d'admettre que le rejet des plis, au bord méridional de la Meseta marocaine, a été facilité par la présence du Trias gypseux plastique, entre la pénéplaine primaire déjà formée et la série des couches secondaires, calcaires ou gréseuses, rigides, les dépôts lagunaires apparaissant, en effet, dans tous les anticlinaux éventrés à flancs jurassiques ou crétacés.

L'Atlas saharien offre avec le Haut Atlas des analogies de structure qui m'ont fait dire qu'il se trouve en continuité tectonique avec lui. En réalité, il ne constitue pas une véritable chaîne, ainsi qu'il résulte des beaux travaux de M. E. Ritter, mais une suite de massifs à plis très simples ou à peine ébauchés, formant des faisceaux disposés en amygdales. Ces plis ont généralement une direction différente de celle de l'Atlas saharien, faisant avec elle un angle d'environ 45°; de plus, dans chacun des faisceaux, un pli partant de la bordure méridionale de l'ensemble va *relayer*, par une inflexion, les plis septentrionaux du faisceau suivant ([1]). Les récents travaux de MM. G.-B.-M. Flamand et H. Roux, sur les massifs des Ksour et de Gafsa, n'ont fait que confirmer cette structure.

L'analogie des plis de l'Atlas saharien, minutieusement décrits par ces distingués géologues, avec ceux du Haut Atlas, est complète. On croirait voir, dans la partie occidentale de la grande chaîne, une reproduction parfaite des plis étudiés par M. Ritter dans le Djebel Amour et les monts des Oulad-Nayl, par M. Flamand dans le massif des Ksour, par M. Roux dans la région de Gafsa. Or, il me semble indiscutable que le massif des Ksour continue le Haut Atlas oriental, de même que le Djebel Amour est en continuité tectonique avec ce dernier. Les dernières rides de l'Atlas marocain s'*ennoyent* sous les dépôts néogènes continentaux des confins algéro-marocains, pour se relever dans le massif des Ksour. De plus, des plis *nés en coulisse*, dans les régions tabulaires du Draa et du Tafilelt, au *sud* du Haut Atlas, vont *relayer les plis septentrionaux* dans l'Atlas saharien.

([1]) E. Ritter, *Le Djebel Amour et les monts des Oulad-Nayl* (*B. Serv. Carte géolog.*, *Algérie*, Alger, 1902).

Bien que ces régions soient encore très peu connues, la tectonique en est si simple que la lecture attentive des itinéraires admirablement levés et décrits par des explorateurs de la valeur de Ch. de Foucauld, est tout à fait édifiante.

La similitude tectonique étant telle entre le Haut Atlas et l'Atlas saharien, les causes orogéniques qui ont plissé, de l'Atlantique à la Syrte, la grande ride montagneuse qui forme la bordure du grand désert, ne peuvent être qu'identiques.

PHYSIQUE DU GLOBE. — *Essai de représentation de la température en fonction de la nébulosité.* Note de M. **Henri Perrotin**, présentée par M. Georges Lemoine.

J'ai entrepris, depuis un an, des recherches ayant trait à l'influence de l'absorption et du rayonnement sur les variations de températures. Entre tous les travaux publiés, à ce jour, sur la distribution de la chaleur à la surface du globe et l'établissement de cartes d'isothermes, il y a place, semble-t-il, pour une étude essayant de relier l'effet à la cause. Le but est de déterminer, en un point donné, la valeur de la température d'après les échanges caloriques que nous pouvons connaître. Ces échanges sont de deux sortes : d'une part, conduction ; d'autre part, absorption et rayonnement. C'est sur ce dernier point que portent mes recherches.

Pour une station déterminée, dans une période où les mouvements généraux de l'atmosphère sont faibles (au mois de juillet dans l'hémisphère nord), la température semble devoir dépendre presque uniquement de la quantité de chaleur qui arrive au sol et de celle qui est rayonnée par lui. Comme cette quantité de chaleur dépend à son tour de l'absorption de l'atmosphère et particulièrement de la nébulosité, j'ai été conduit à chercher une représentation de la température en fonction de la nébulosité afin d'éliminer ce dernier facteur dans la suite du travail. A cet effet, j'ai choisi un certain nombre de stations dont les observations de température et de nébulosité me paraissaient les meilleures.

En appelant n la nébulosité moyenne d'un mois de juillet, pour une station de l'hémisphère nord, t la température moyenne observée, j'ai pu représenter avec une approximation suffisante [1] la tempéra-

---

[1] J'ai employé, dans ce but, une représentation graphique consistant à porter sur une feuille millimétrique les nébulosités en abscisses et les températures en ordonnées. Cette représentation s'accorde bien avec les calculs que j'ai faits concurremment par la méthode des moindres carrés.

ture moyenne mensuelle par une relation de la forme $t = t_0 + a\,n$.

La formule linéaire est assez compréhensible, car elle signifie que la température est, en gros, proportionnelle à la durée pendant laquelle un point du sol est exposé aux rayons de la source de chaleur.

J'ai ainsi obtenu les températures théoriques (dont je me propose d'augmenter le nombre par la considération de stations prises dans l'hémisphère sud pour le mois de janvier), températures correspondant au cas où il n'y aurait pas de nuages dans l'atmosphère : ce sont ces températures encore imparfaites, auxquelles devront être appliquées de nouvelles corrections (entre autres, correction résultant de l'absorption atmosphérique), que je me propose de relier, dans la suite, à la constante solaire.

Quoi qu'il en soit, les premiers résultats, obtenus par élimination de la nébulosité, m'ont paru assez concordants : ils sont résumés dans le Tableau ci-après qui renferme en outre la répartition des erreurs résiduelles (¹) propres à chaque station :

Stations (²).	Latitude.	Nombre (³) d'observations.	Température théorique du mois de juillet.	Coefficient de nébulosité.	Nombre d'erreurs résiduelles (⁴) comprises entre 0° et 0°,9.	1° et 1°,9.	2° et 2°,5.
Parc Saint-Maur.......	48°.48	90	23°,7	— 1,0	31	20	6
Puy de Dôme (plaine).	45.46	60	26,4	— 1,4	25	26	6
Rome................	41.54	26	26,4	— 1,0	19	11	6
Florence............	43.46	26	27,1	— 1,1	17	13	6
Gênes...............	44.25	26	27,3	— 1,1	17	10	9
Venise..............	45.26	26	28,1	— 1,2	18	11	7
Milan...............	45.28	26	29,3	— 1,2	18	11	5
Turin...............	45.40	26	28,2	— 1,3	17	12	6

(¹) Partant de la relation linéaire relative à une station déterminée $t = t_0 + a\,n$, relation dans laquelle t_0 et a sont connus, remplaçant n par les nébulosités moyennes des mois de juillet des différentes années observées, j'ai obtenu les températures moyennes calculées : leurs différences avec les valeurs observées correspondantes fournissent les erreurs résiduelles dont le dénombrement figure dans le Tableau.

(²) Toutes les stations choisies sont de faible altitude.

(³) Pour les huit premières stations moyennes par décades, pour les autres moyennes mensuelles.

(⁴) Sur vingt-quatre stations employées, quatre seulement fournissent chacune une, deux ou trois erreurs résiduelles dépassant 2°,5 (Parc Saint-Maur, Puy de Dôme, Milan, Turin).

Stations.	Latitude.	Nombre d'observations.	Température théorique du mois de juillet.	Coefficient de nébulosité.	Nombre d'erreurs résiduelles comprises entre 0° et 0°,9.	1° et 1°,9.	2° et 2°,5.
	°		°				
New-Orléans	29.58	17	30,9	— 0,8	11	5	1
Jacksonville	30.20	17	32,3	— 1,0	11	5	1
Pensacola	30.25	17	32,5	— 1,0	13	4	0
Mobile	30.41	17	32,1	— 1,1	10	5	2
Memphis	35.09	17	31,3	— 1,1	11	6	0
Hatteras	35.15	17	30,7	— 1,0	15	2	0
Fortsmith	35.22	17	31,5	— 1,0	9	6	2
Block-Island	41.10	20	24,9	— 1,0	12	8	0
Nantucket	41.17	20	24,9	— 1,0	12	7	1
New-Haven	41.18	20	26,0	— 0,9	14	3	0
Christiania	59.55	18	24,7	— 1,0	11	6	1
Bergen	60.24	19	21,2	— 1,0	9	8	2
Christiansund	63.70	19	19,9	— 1,0	10	7	2
Bröno	65.28	19	20,5	— 1,1	10	6	3
Vardö	70.22	19	16,5	— 1,0	11	7	1
Trieste	46.20	30	28,1	— 1,0	22	8	0

L'ensemble de ces premiers résultats permet de faire les deux remarques suivantes :

1° *Le coefficient de nébulosité reste sensiblement uniforme et voisin de* 1.

2° Pour les stations ayant à peu près la même latitude, les températures théoriques t_0 ne présentent entre elles que de faibles écarts.

L'examen qui a été fait, pour chaque station, des erreurs résiduelles, a toujours indiqué que les écarts importants (atteignant et dépassant 1°) correspondaient à des mois de juillet soumis à de forts mouvements atmosphériques.

Comme nous l'avons indiqué plus haut, les températures théoriques ainsi obtenues sont encore susceptibles d'améliorations, mais elles présentent déjà un intérêt suffisant pour justifier cet exposé.

A 4 heures un quart l'Académie se forme en Comité secret.

La séance est levée à 5 heures et demie.

PH. v. T.